Agriculture Canada

Research Branch | Direction générale de la recherche

Bulletin technique 1984-5F

Le fumier dans le bassin de la rivière St-François

Composition chimique, quantités produites, utilisation

Canada

84- 4821

Sur la couverture, les points sur la carte indiquent les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

Le fumier dans le bassin de la rivière St-François

Composition chimique, quantités produites, utilisation

JOSEE DUPONT
Département de chimie
Université Laval, Québec (Québec)

JEAN-LOUIS DIONNE et REAL GAGNE
Station de recherche
Lennoxville (Québec)

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1984

On peut obtenir des exemplaires de ce bulletin à la
Station de recherche
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
C.P. 90
Lennoxville (Québec)
J1M 1Z3

Production du Service aux programmes de recherche

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. A54-8/1984-5F
ISBN 0-662-92481-9

Table des matières

	Page
INTRODUCTION	1
NOTIONS SUR LES FUMIERS	2
1. Composition et quantité de fumier produit	2
1.1 Quantité de fumier produit	2
1.2 Composition du fumier	2
2. Modes d'entreposage des fumiers	2
2.1 Modes d'entreposage du fumier solide	2
2.2 Modes d'entreposage du fumier liquide	3
2.3 Modes d'entreposage du fumier semi-solide	3
2.4 Effets de la conservation des fumiers	3
3. Quantité de fumier à appliquer et période propice à l'épandage	3
4. Effets du fumier sur le sol	4
4.1 Le pH du sol	4
4.2 Type de sol	4
4.3 Minéralisation	4
5. Effets du fumier sur les plantes	4
6. Pollution	5
MATERIEL ET METHODES	6
1. Choix des sites d'échantillonnage	6
2. Techniques d'échantillonnage du fumier	6
2.1 Fumier en tas et sur plate-forme	6
2.2 Fumier liquide en fosse	6
2.3 Conservation des échantillons	6
3. Analyse chimique des fumiers	9
3.1 Généralités	9
3.2 Mise en suspension homogène	9
3.3 Dosage de N, P, K, Mg et Ca	10
3.3.1 Digestion	10
3.3.2 Dosage de N total et P	11
3.3.3 Dosage de K, Mg, Ca, Na	12
3.3.4 Dosage de $N\text{-}NH_4$	13
3.4 Vérification et reproductivité des résultats obtenus pour le dosage des éléments majeurs	14
3.5 Dosage des oligo-éléments	15
3.5.1 Incinération	15
3.5.2 Dosage de Fe, Cu, Mn et Zn	15
3.5.3 Dosage du molybdène	16
3.5.4 Dosage du bore	19
3.5.5 Vérification de la reproductivité des résultats obtenus pour le dosage des oligo-éléments	20

3.6 Détermination des pourcentages de matière sèche, de cendre, de matière organique, de carbone total et de pH 22

3.7 Enquête agronomique 22
1. Questionnaire commun à tous les producteurs visités 23
2. Questionnaire soumis seulement à une dizaine de producteurs 24

RESULTATS 25

1. Résultats des analyses chimiques des fumiers 25
1.1 Fumier de bovins laitiers 25
1.2 Fumier de bovins de boucherie 31
1.3 Fumier de porcs 37
1.4 Fumier de volailles 42
1.5 Fumier de moutons 48
1.6 Fumier de chèvres et de chevaux 53
1.7 Comparaison des fumiers de différentes espèces animales 59
1.8 Relation entre le pourcentage de matière sèche et sa teneur en éléments majeurs 63
1.9 Teneur de fumier en éléments mineurs: Cu, Mn, Zn, Fe, B et Mo 63

2. Résultats de l'enquête concernant la production, la conservation, et l'utilisation des fumiers 72
2.1 Espèces animales 72
2.2 Alimentation des animaux 72
2.3 Stabulation et litière 73
2.4 Modes d'entreposage et utilisation des fumiers 73

3. Production totale de N, P_2O_5 et K_2O et charge d'azote en unités animales à l'hectare dans le bassin de la St-François 75

DISCUSSION 78

BIBLIOGRAPHIE 84

Liste des tableaux

		Page
1.	Kilogrammes d'azote total, d'azote ammoniacal, de phosphore, de potassium, de magnésium et de calcium par tonne de fumier frais de vaches laitières, évalués pour dix échantillons du même fumier.	14
1A.	Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins laitiers, évaluée pour dix échantillons d'une même provenance.	21
2.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins laitiers dans la région du bassin de la rivière St-François.	27
3.	Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins laitiers dans le bassin de la rivière St-François.	28
4.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de bovins laitiers dans la région du bassin de la rivière St-François.	29
5.	pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins laitiers pour chacune des périodes étudiées.	30
6.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N ainsi que kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins laitiers pour chacune des périodes étudiées.	30
7.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.	33
8.	Kilogrammes d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.	34
9.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.	35
10.	pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins de boucherie pour chacune des périodes étudiées.	36
11.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins de boucherie pour chacune des périodes étudiées.	36
12.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.	39
13.	Kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.	40
14.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.	41

		Page
15.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de volailles dans la région du bassin de la rivière St-François.	44
16.	Kilogrammes d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche, par tonne de fumier de volailles dans la région de la rivière St-François.	45
17.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de volailles dans la région du bassin de la rivière St-François.	46
18.	pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de volailles pour chacune des périodes étudiées.	47
19.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de volailles pour chacune des périodes étudiées.	47
20.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.	49
21.	Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.	50
22.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.	51
23.	pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de moutons pour chacune des périodes étudiées.	52
24.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de moutons, pour chacune des périodes étudiées.	52
25.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.	54
26.	Kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.	55
27.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.	56
28.	pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chèvres et de chevaux pour chacune des périodes étudiées.	57
29.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chèvres et de chevaux pour chacune des périodes étudiées.	58
30.	Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chacune des espèces étudiées.	60

		Page
31.	Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chacune des espèces étudiées.	61
32.	Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de chacune des espèces étudiées.	62
33.	Coefficients de corrélation r entre le pourcentage de matière sèche et la teneur en éléments fertilisants des fumiers de chaque espèce étudiée.	64
34.	Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins laitiers.	66
35.	Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins de boucherie.	67
36.	Teneur en éléments mineurs du fumier de porcs.	68
37.	Teneur en éléments mineurs du fumier de volailles.	69
38.	Teneur en éléments mineurs du fumier de moutons.	70
39.	Teneur en éléments mineurs des espèces animales étudiées.	71
40.	Nombre de producteurs visités par espèce animale.	72
41.	Alimentation des animaux selon les producteurs visités.	72
42.	Types de stabulation et de litière selon les producteurs visités.	73
43.	Modes d'entreposage et utilisation des fumiers selon les producteurs visités.	74
44.	Nombre d'animaux, quantités de fumier, de N, P_2O_5 et K_2O dans le bassin de la rivière St-François.	76
45.	Quantités de fumier, en tonnes métriques à l'hectare, requises pour fournir les éléments mineurs aux doses ordinairement recommandées.	81

Liste des figures

		Page
1.	Localisation du bassin de la rivière St-François	7
2.	Sites d'échantillonnage	8
3.	Bovins laitiers: sites d'échantillonnage	26
4.	Bovins de boucherie: sites d'échantillonnage	32
5.	Porcs: sites d'échantillonnage	38
6.	Chevaux, chèvres, volailles, moutons: sites d'échantillonnage	43
7-12	Fumier de porcs: éléments fertilisants vs matière sèche	65
13.	Charge d'azote sur le territoire du bassin de la St-François. Azote exprimé en unités animales à l'hectare ou en kg de N ha^{-1}	77

RESUME

A la Station de Recherches de Lennoxville, nous avons mené une étude sur la production, la qualité et l'utilisation du fumier dans la bassin de la rivière St-François. Dans le cadre d'un projet "Eté Canada", une équipe de sept étudiants a consulté le rapport de recensement agricole du Canada afin d'évaluer la population animale et de calculer la production de fumier. L'équipe a visité 59 producteurs agricoles localisés à la grandeur du bassin et les a questionnés au sujet du mode d'entreposage, et de l'utilisation du fumier. De plus, des échantillons de fumier ont été prélevés à trois reprises au cours de l'été, chez les 59 producteurs.

Voici un résumé des résultats de cette étude:

On a mis au point un système d'analyse chimique grâce auquel tous les éléments fertilisants peuvent être dosés, à partir d'un seul mélange homogène d'eau et de fumier préparé en laboratoire.

La teneur en éléments fertilisants des fumiers varie d'une ferme à l'autre de sorte qu'on introduirait un élément d'erreur en utilisant la composition chimique moyenne des fumiers dans la confection d'un programme de fertilisation d'une ferme en particulier.

La teneur en éléments mineurs du fumier était basse mais son contenu en cuivre s'est avéré supérieur à celui rapporté précédemment. Le fumier de volailles contient assez de cuivre, de zinc et de molybdène pour satisfaire aux besoins des plantes à condition de l'appliquer à la dose de 25 à 40 tonnes métriques à l'hectare.

Tout le fumier de porcs est entreposé dans des réservoirs en béton, tandis que 69% du fumier de bovins est gardé en tas reposant sur le sol nu.

On utilise le fumier sur les cultures suivantes: foin 35%, pâturage 26%, maïs 20%, céréales 15%, autres cultures 4%. Le fumier "solide" s'épand à la dose de 15 à 25 tonnes à l'hectare. Le lisier de porcs s'applique à raison de 139 mètres cubes à l'hectare (12415 gallons à l'acre). Cette dose varie cependant de 13 à 220 mètres cubes à l'hectare (1200 à 20000 gallons à l'acre).

A la grandeur du territoire, la charge d'azote provenant du fumier se chiffre à moins de 138 kilos d'azote (N) à l'hectare ce qui correspond au N produit par moins de deux unités animales à l'hectare.

Plus de 2 millions de tonnes de fumier sont produites chaque année dans le bassin de la rivière St-François. Elles contiennent plus de 25000 tonnes d'éléments fertilisants valant près de 18 000 000$ d'après le prix courant des engrais chimiques. Ainsi le fumier produit dans cette région possède une valeur fertilisante et monétaire des plus intéressantes.

SUMMARY

A study of manure quantity, composition, and use in the St. Francis River basin was conducted by a group of seven "Summer Canada" students under the direction of the Lennoxville Research Station. The Statistics Canada "1981 Census of Agriculture:Quebec" was used to determine animal populations and calculate the quantity of manure produced. Manure storage and use information and samples were obtained from 59 farms. The mineral composition of manure was determined by chemical analysis of samples collected at three different times during the summer.

The results can be summarized as follows:

A simple system of chemical analysis of manure was developed in which all nutrient elements were determined from a single homogeneous slurry made in the laboratory.

Nutrient content of manure varied considerably between farms. Therefore significant error would be caused by using the average mineral composition of manure in a soil fertilization program for a particular farm.

Minor element content of manure was low. However, the copper content was higher than that reported in previous studies. Enough copper, zinc, and molybdenum was contained in poultry manure to meet crop requirements of these elements when applied at rates of 25 to 40 metric tons per hectare.

All pig manure was stored in concrete tanks, whereas 69% of beef and dairy cattle manure was piled on the ground.

Manure was utilized as follows: 35% on hay crops, 26% on pasture, 20% on corn, 15% on cereal crops and 4% on other crops. The spreading rate of "solid" manure varied from 15 to 25 tons per hectare. Liquid pig manure was applied at 139 cubic meters per hectare (12410 gallons per acre) but it varied between 13 to 220 cubic meters per hectare (1200 to 20000 gallons per acre).

The theoretical manure nitrogen stocking rate was less than 136 kilos per hectare or two animals units/ha in improved farmland in the basin.

More than two million tons of manure containing over 25000 tons of plant nutrient elements are produced annually in the St. Francis River basin. At the current price of chemical fertilizers, the manure is worth about 18 million dollars. Thus the manure produced in this region is of significant value.

INTRODUCTION

Le fumier n'a pas bonne presse par les temps qui courent. On le considère comme le principal agent de pollution des cours d'eau. Il est presque devenu l'ennemi numéro un de l'environnement. Pourtant, il possède une valeur agricole certaine.

A la Station de Recherches de Lennoxville, nous avons décidé de mener une étude sur la situation du fumier dans le bassin de la rivière St-François, au coeur duquel se situe la Station de Recherches.

C'est donc dans le cadre d'un projet Eté-Canada, avec une équipe d'étudiants(tes), que nous avons mis sur pied une étude sur la production, la qualité et l'utilisation des fumiers dans le bassin de la rivière St-François. Tout d'abord, nous avons consulté les rapports des statistiques agricoles du Canada et du Québec. Puis, nous avons visité 59 producteurs agricoles, localisés à la grandeur du bassin, que nous avons questionnés au sujet du mode d'entreposage, de l'utilisation et du temps d'épandage des fumiers. Finalement, nous avons prélevé des échantillons de fumier à trois reprises au cours de l'été chez ces 59 producteurs.

Tout cela dans un effort de donner une image réelle de ce qu'est la situation du fumier de ferme dans le bassin de la rivière St-François. Cette étude se divise en trois principales parties. 1- Description détaillée du système d'analyses chimiques du fumier. 2- Présentation des résultats d'analyses chimiques des fumiers du bassin de la St-François. 3- Divulgation de l'information concernant la production, la conservation et l'utilisation du fumier dans le bassin de la rivière St-François.

NOTIONS SUR LES FUMIERS

La littérature concernant les fumiers est abondante, mais nous croyons tout de même utile de rappeler brièvement les principales notions traitant de la quantité et de la composition du fumier produit au Québec, de l'utilisation et des modes d'entreposage des fumiers, de ses effets sur les sols et les plantes et de son implication dans le problème de la pollution des eaux.

1. Composition et quantité de fumier produit

1.1 Quantité de fumier produit

Les éleveurs du Québec doivent ramasser, entreposer et recycler environ 25 millions de tonnes de fumier chaque année (Dubé, A., 1983), ce qui constitue une grande richesse en éléments fertilisants. Toutefois, comme on exige que le fumier d'une unité animale soit épandu sur 0,3 hectare, les producteurs qui pratiquent l'élevage intensif ne possèdent pas la superficie requise à l'épandage du fumier et doivent alors conclure des ententes avec des propriétaires de plus grandes superficies de terre.

1.2 Composition du fumier

L'eau est la principale composante des fumiers. Vient ensuite la matière organique qu'on retrouve en quantité plus faible mais qui est très importante en tant qu'amendement pour le sol. Les fumiers contiennent également des éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes qui sont: l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le fer, le zinc, le bore, le manganèse, le cuivre et le molybdène. Les concentrations moyennes des fumiers en ces éléments minéraux sont présentées dans différents travaux déjà publiés (MAPAQ, 1982, CPVQ MAPAQ, 1980, Maclean, Hore, 1980).

Plusieurs facteurs influencent la composition des fumiers tels que l'espèce animale (Maclean, Hore, 1980), le type d'aliment et les rations alimentaires (Barnett, G.M., 1975), l'âge et la fonction de l'animal ainsi que la nature et la proportion de la litière (Maclean, Hore, 1980).

2. Modes d'entreposage des fumiers

2.1 Modes d'entreposage du fumier solide

Le fumier solide peut être entreposé sur une plate-forme en béton ou en tas reposant directement sur le sol. Si le fumier est laissé en tas non comprimé, l'ammoniac se dégage, ce qui implique de fortes pertes d'azote. Il faut également considérer qu'un tas à l'extérieur est exposé

aux pluies qui entraînent, par lessivage, une source importante de fertilité: le purin. D'autre part, l'entreposage du fumier sur une plate-forme munie de murets permet de conserver le purin et prévient la pollution.

2.2 Modes d'entreposage du fumier liquide

On retrouve du fumier sous forme liquide dans les productions porcines où il est entreposé dans des fosses ou des réservoirs hors sol en béton armé. Ici, le brassage durant l'entreposage et/ou l'épandage peut causer des pertes d'azote mais les pertes en phosphore et en potassium sont faibles (Martel, Y., Fortier, M., Choinière, J. 1978)

2.3 Modes d'entreposage du fumier semi-solide

Le fumier sous forme semi-solide se retrouve dans les exploitations de poules pondeuses et dans les productions laitières où les vaches sont gardées dans une étable à logettes. Ce fumier est entreposé dans une fosse circulaire mais possédant une descente pour tracteur. (CPVQ, MAPAQ, 1980).

2.4 Effets de la conservation des fumiers

Des recherches ont permis de mesurer l'effet de chacun des systèmes d'entreposage sur l'utilisation des éléments N, P et K par les plantes. Il apparaît que l'entreposage liquide en fosse a donné les meilleurs résultats (Hensler, R.F. 1970). Toutefois, dans certaines conditions également bonnes, le système d'entreposage liquide cause des pertes d'azote plus élevées à l'air que le système d'entreposage solide communément retrouvé avec les bovins laitiers (Martel, Y., Zizka, J.).* Les pertes d'azote peuvent être empêchées ou réduites par l'emploi de certaines substances préservatives comme le superphosphate.

3. Quantité de fumier à appliquer et période propice à l'épandage

Parmi les facteurs qui interviennent dans la détermination des doses de fumier à appliquer au sol, on compte: l'état de fertilité du sol, le relief, le type et l'humidité du sol, l'espèce cultivée et la date d'apport. (CPVQ, MAPAQ, 1980). Une grille de recommandations a été élaborée par le MAPAQ à partir des besoins en azote des espèces végétales et de la teneur du fumier en azote total (CPVQ, MAPAQ, 1980).

En règle générale, on devrait épandre et incorporer le fumier au sol en automne (Diehl, R., 1959). Toutefois, sur les prairies, l'application est faite après la première coupe alors que sur les sols légers et

---

*Martel, Y., Zizka, J. Communication personnelle

les loams sableux, l'application est effectuée tôt le printemps, avant le semis. Finalement, sur les sols lourds, il faut enfouir le fumier l'automne précédant le semis (CPVQ, MAPAQ, 1980).

4. Effets du fumier sur le sol

Le fumier améliore les propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol. Il ajoute beaucoup d'éléments secondaires qui sont nécessaires à la plante et qui n'existent habituellement pas dans les engrais chimiques. De plus, la matière organique contenue dans les fumiers permet l'établissement et le maintien d'une structure du sol favorable à l'enracinement des plantes, à la circulation de l'air et de l'eau et à l'activité biologique (CPVQ, MAPAQ, 1980).

4.1 Le pH du sol

Lors des apports de fumier au sol, la libération rapide de l'ammoniac accroît le pH qui s'abaisse ensuite lorsque l'ammoniaque est oxydée en nitrates. (Hileman, L.H., 1971, Hensler, R.F., 1970).

4.2 Type de sol

Selon leur type d'évolution pédogénétique, les sols sont susceptibles de réagir différemment aux apports de fumier (Diehl, R. 1959). Pour que les éléments fertilisants soient utilisés par les plantes et non emportés par les eaux naturelles, il faut tenir compte à la fois de la nature du sol, de la nature du fumier disponible et des besoins des cultures (Martel, Y. 1975).

4.3 Minéralisation

Les formes d'azote utilisable par les plantes sont l'azote ammoniacal (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-). "En raison de notre climat, la minéralisation des éléments fertilisants contenus dans les fumiers ne peut s'accomplir complètement au cours de la première saison de végétation. On estime que 46,2% de l'azote, 23,7% du phosphore et 46,0% du potassium sont minéralisés au cours de cette première année". (Martel, Y., Fortier, M., Choinière, J. 1978).

5. Effets du fumier sur les plantes

En plus d'influencer la composition et la qualité des plantes, l'incorporation du fumier au sol favorise le développement des racines, abaisse le pourcentage des légumineuses et augmente le pourcentage des graminées dans les mélanges fourragers et réduit l'incidence de maladies provoquées par des carences en éléments mineurs. (CPVQ, MAPAQ, 1980).

Toutefois, des doses massives de fumier peuvent engendrer les problèmes suivants: l'intoxication aux nitrates, la transmission de maladies et de parasites par des fourrages contaminés par le fumier et l'apport de graines de mauvaises herbes (CPVQ, MAPAQ, 1980).

6. Pollution

Les causes majeures de la pollution de l'eau par les fumiers sont:

- mode inadéquat d'entreposage
- application sur un sol gelé
- taux d'épandage trop élevé

Ces facteurs entraînent plusieurs problèmes tels que la contamination de l'eau consommée par les animaux, l'eutrophisation et l'accroissement de la demande biochimique en oxygène (B.D.O) dans les cours d'eau.

MATERIEL ET METHODES

1. Choix des sites d'échantillonnage

Le choix des sites d'échantillonnage a été fait en collaboration avec les agronomes des bureaux régionaux et des bureaux de renseignements agricoles du MAPAQ, situés dans les six régions en lesquelles nous avons divisé le bassin de la rivière St-François (figure 1): Drummondville, Richmond, Rock Forest, Coaticook, Cookshire et Disraëli.

Dans un premier temps, la sélection a été effectuée de façon à obtenir une bonne distribution des sites à travers tout le bassin. Environ dix fermes ont donc été choisies dans chacune des régions mentionnées plus haut (figure 2). Dans un deuxième temps, différentes productions ont été favorisées afin de respecter la prédominance de certains types d'exploitations agricoles dans le bassin de la rivière St-François. Ainsi, les dix fermes choisies dans chacun des secteurs, se répartissent de la façon suivante: vaches > bovins de boucherie > porcs > volailles > moutons > chèvres > chevaux (figure 4, 5, 6 et 7).

2. Techniques d'échantillonnage du fumier

2.1 Fumier en tas et sur plate-forme

Un prélèvement a été effectué à quatre endroits diamétralement opposés, à mi-hauteur du tas. Ces prélèvements étaient faits à environ un mètre de profondeur.

Dans un deuxième temps, les quatre prélèvements ont été mélangés le plus uniformément possible. Le mélange formé fut alors divisé en quartiers imaginaires dans lesquels ont été pris, à tour de rôle et dans le sens des aiguilles d'une montre, un aliquot de fumier jusqu'à l'obtention d'un litre d'échantillon.

2.2 Fumier liquide en fosse

L'échantillonnage du fumier liquide a été fait à l'épandage; c'est à dire en plongeant un seau directement dans l'épandeur. L'échantillon était ensuite transvidé dans un contenant d'un litre.

2.3 Conservation des échantillons

Tous les échantillons recueillis étaient immédiatement entreposés dans une glacière pour éviter les pertes pendant le transport au laboratoire. Les échantillons étaient alors placés dans un réfrigérateur jusqu'à l'analyse qui s'effectuait toujours dans la même semaine que la prise de l'échantillon.

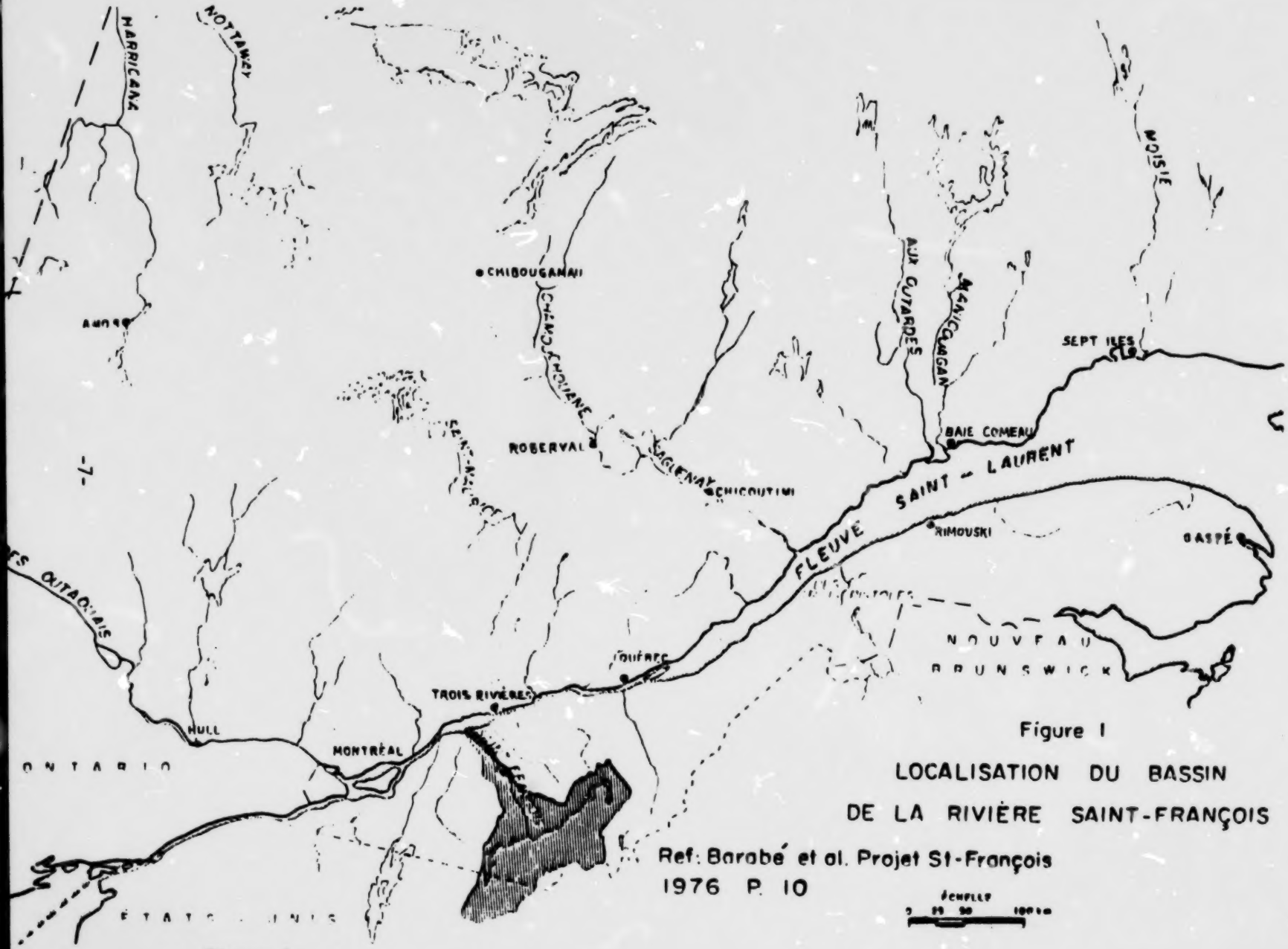


Figure 1

LOCALISATION DU BASSIN
DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS

Ref: Barabé et al. Projet St-François
1976 P. 10

Figure 1

FIGURE 2: SITES D'ECHANTILLONNAGE

3. Analyse chimique des fumiers

3.1 Généralités

Les analyses ont été faites sur des échantillons de fumiers préalablement mis en suspension homogène contenant environ 5% de matière sèche. Un aliquot de cette suspension est digéré à l'aide d'acide sulfurique, d'acide sélénieux et de peroxyde d'hydrogène. A partir de ce digestat, le potassium, le calcium, le magnésium et le sodium sont dosés par spectrophotométrie à flamme d'absorption atomique. L'azote et le phosphore sont déterminés par colorimétrie.

Le dosage des éléments mineurs (B, Cu, Zn, Mn et Mo) est effectué à partir d'une portion de la suspension homogène évaporée à sec, puis incinérée à 500°C. La détermination est faite soit par colorimétrie, soit par spectrophotométrie à flamme d'absorption atomique, selon l'élément considéré.

Finalement, toujours à partir de la suspension homogène, les pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendre et de carbone sont évalués.

3.2 Mise en suspension homogène

La préparation des échantillons est une étape très importante dans n'importe quelle analyse chimique de matériel biologique. Plus ce matériel est hétérogène et plus l'échantillon sur lequel on effectue les déterminations est petit, plus l'homogénisation est essentielle à l'obtention d'un échantillon représentatif. Dans notre cas, la mise en suspension homogène constitue l'étape la plus importante de toute l'analyse chimique puisque les résultats obtenus sont une conséquence directe de cette manipulation. Un prélèvement de fumier frais est mis en suspension dans l'eau au moyen d'un appareil qui le déchiquète et l'homogénise (Tecator manuel, 1972).

Instruments: Mélangeur (blender) Polytron de Brindmann Instruments munis de couteaux PT35K
Balance d'une précision de 0,01 g.

Manipulations: Peser environ 100 g de fumier (noter le poids) auquel on ajoute de l'eau distillée de façon à obtenir une suspension contenant à peu près 5% de matière sèche. Noter soigneusement le poids total afin de déterminer le facteur de suspension (F.S.) qui s'exprime de la façon suivante:

$$F.S. = \frac{\text{poids total de la suspension}}{\text{poids de fumier frais}}$$

Le mélange est ensuite homogénisé pendant 2 ou 3 minutes à l'aide du Polytron, à vitesse élevée (20000 rpm).
Les échantillons sont prélevés de la suspension homogène en maintenant une agitation à vitesse réduite.

3.3 Dosage de N, P, K, Mg, Ca et Na

Pour la détermination quantitative de N, P, K, Mg, Ca et Na, on procède à une digestion à l'acide selon une méthode similaire à celle applicable aux tissus végétaux. Les éléments sont ensuite dosés soit par colorimétrie, soit par spectrophotométrie à flamme d'absorption atomique.

3.3.1 Digestion

Instruments: Balances de précision de 0,01 g et de 0,0001 g
Agitateur de Vortex-Genie
Bloc à digestion, muni d'une unité de contrôle 100B et de tubes à minéralisation, de Tecator ou de Technicon.

Réactifs: Acide sulfurique (H_2SO_4) 95-98%
Acide sélénieux (H_2SeO_3)
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) 30%
Standards de feuilles de tomates (STD-1573) de NBS Standard Reference Material (U.S.A)

Manipulations:

a) Mélange H_2SO_4 - H_2SeO_3

Placer 97 g de H_2SeO_3 dans un bécher. Ajouter lentement 100 ml d'eau distillée. Ajouter la solution ainsi formée à une bouteille d'acide sulfurique de 4,08 kilos. Bien agiter.

b) Placer 5 g de la suspension fraîchement homogénisée (noter le poids de l'échantillon) dans des tubes à minéralisation et ajouter 6 ml du mélange H_2SO_4 - H_2SeO_3. Agiter légèrement et laisser reposer 15 minutes.

c) Ajouter, petit à petit, 4 ml de peroxyde d'hydrogène 30%. Agiter la solution au Vortex-Genie et laisser reposer encore 15 minutes.

d) Placer les tubes à minéralisation dans le bloc à digestion, préalablement chauffé à 400°C. Digérer pendant 45 minutes.

e) Retirer les tubes du bloc et laisser refroidir pendant 10 minutes. Ajouter alors 30 ml d'eau distillée et agiter au Vortex-Génie pendant 1 minute.

f) Compléter au volume de 250 ml avec de l'eau distillée, lorsque les tubes sont à la température ambiante.

Note: Pour vérifier l'exactitude des résultats, nous avons utilisé des standards de feuilles de tomates (STD-1573). Ces derniers sont de composition connue et certifiée par le Bureau National Américain des Standards.

Ajouter 5 ml d'eau distillée à 0,2500 g de STD-1573 et digérer de la même façon que les fumiers.

3.3.2 Dosage de N total et P

L'analyse colorimétrique de ces deux éléments est simultanée; les solutions standards doivent donc contenir à la fois l'azote et le phosphore.

Instruments: Balance d'une précision de 0,0001 g
Colorimètre "Auto-Analyse II" de Technicon Industrials Systems.

Réactifs: Sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$)
Solution standard de phosphate monobasique (KH_2PO_4) 1000 ppm.

Les solutions servant aux traitements colorimétriques sont préparées à partir de réactifs de base disponibles à la firme Technicon Industrials Systems qui fournit également les modes opératoires.

Manipulations:

a) Peser 1,415 g de $(NH_4)_2SO_4$ que l'on place dans un flacon volumétrique de 1 litre et ajouter 100 ml de la solution de phosphate monobasique 1000 ppm. Compléter au volume avec de l'eau distillée de façon à obtenir une solution-mère de 300 ppm d'azote et de 100 ppm de phosphore.

b) Préparer les solutions standards à partir de la solution-mère en variant les concentrations de 3 à 60 ppm pour l'azote et de 1 à 20 ppm pour le phosphore. Afin que les standards aient le même profil chimique

que les échantillons, ajouter 2,4% (2,4 ml/100 ml) du mélange H_2SO_4-H_2SeO_3 qui a servi à la digestion.

c) Doser les standards et les échantillons à l'aide de "l'Auto-Analyser II" de Technicon. La détermination de l'orthophosphate repose sur la formation d'un complexe molybdénique bleu à partir du molybdate d'ammonium. Ce complexe est lu à 885 nm. (Technicon, 1972). L'analyse de l'ammoniaque est basée sur la coloration résultant du mélange de salycilate de sodium, de dichloroisocyanurate de sodium et de nitrifevrycianide de sodium en milieu alcalin.

Le complexe ammoniaque-salicylate est lu à 660 nm. (Technicon, 1972).

d) Transformer la concentration en ppm des échantillons digérés en kg/tonne de fumier frais par le calcul suivant:

$$\text{kg/tonne} = \frac{\text{ppm} \times 0,25}{\text{poids de l'échantillon}} \times \text{F.S.}$$

3.3.3 Dosage de K, Mg, Ca et Na

Ces éléments sont dosés par spectrophotométrie à flamme d'absorption et ils peuvent être combinés dans les solutions standards.

Instruments: Balance d'une précision de 0,0001 g
Spectrophotomètre à flamme de Varian Techtron modèle 1250.

Réactifs: Solution standard de potassium (KCL) 1000 ppm
Solution standard de magnésium (Mgm) 1000 ppm
Solution standard de calcium ($CaCO_3$) 1000 ppm
Solution standard de sodium (NaCl) 1000 ppm

Manipulations

a) Préparer les solutions standards de K, Mg, Ca et Na à partir des solutions 1000 ppm correspondantes, de façon à obtenir des concentrations variant entre 2 et 46 ppm sauf pour le sodium, où l'intervalle doit être de 0,2 à 6,6 ppm.

b) Ajouter aux solutions standards 2,4% du mélange H_2SO_4-H_2SeO_3. Les concentrations en kg/tonne des échantillons sont évaluées de la même façon qu'à la section 3.3.2.d.

3.3.4 Dosage de $N\text{-}NH_4$

De la même façon que l'azote total et le phosphore, l'azote ammoniacal est déterminé par colorimétrie à "l'Auto-Analyser II" de Technicon. Toutefois, l'analyse est effectuée directement sur des échantillons de la suspension homogène qui, cette fois, n'ont pas à subir le traitement de digestion à l'acide. On procède plutôt à l'extraction de $N\text{-}NH_4$ par une solution d'acide chloridrique 0,1 N.

Instruments: Balances de précision de 0,01 g et de 0,0001 g
Centrifugeuse, modèle B-20A de International Equipment Co., munie d'une couronne 8 places pour tubes de 50 ml de Sargent-Welch.
Colorimètre "Auto-Analyser II" de Technicon Industrials Systems.
Cylindre de Chapman 450 ml de Kimax

Réactifs: Acide chloridrique (HCl), 37%
Chlorure d'ammonium (NH_4Cl)

Manipulations:

a) Solution HCl 0,1N: diluer 86 ml de HCl 37% dans 4 litres d'eau distillée. Compléter ensuite à 10 litres toujours avec de l'eau distillée.

b) Peser 1,457 g de chlorure d'ammonium que l'on place dans un flacon volumétrique de 1 litre. Compléter au volume avec HCl 0,1N de façon à obtenir une solution-mère de 300 ppm d'azote ammoniacal.

c) Préparer les solutions standards à partir de la solution-mère en variant les concentrations de 3 à 60 ppm.

d) Peser environ 10 g de matière fraîchement homogénisée (noter le poids de l'échantillon) dans un erlenmeyer de 500 ml en nalgène. Ajouter 90 ml de HCl 0,1N et agiter pendant une heure. Centrifuger le mélange pendant 15 minutes à 19500 RPM. Recueillir le surnageant et effectuer les dosages à "l'Auto-Analyser II".

e) Mesurer la densité de la suspension homogène à l'aide d'un cylindre de Chapman.

f) Transformer la concentration en ppm des échantillons en kg/tonne de fumier frais par le calcul suivant:

$$\text{kg/tonne} = \text{ppm} \times \frac{\left(\left(\frac{\text{poids de l'échantillon}}{\text{densité}}\right)+90\right)\times 0{,}001 \times \text{F.S.}}{\text{poids de l'échantillon}}$$

3.4 Vérification de la reproductivité des résultats obtenus par la méthode du dosage des éléments majeurs

Afin de vérifier l'efficacité des méthodes d'analyses choisies, nous avons effectué les dosages de N total, $N\text{-}NH_4$, P, K, Mg et Ca sur dix échantillons du même fumier de vaches laitières. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 1.

Tableau 1 Kilogrammes d'azote total, d'azote ammoniacal, de phosphore, de potassium, de magnésium et de calcium par tonne de fumier frais de vaches laitières, évalués pour dix échantillons du même fumier.

	Azote total kg/tonne	Azote ammoniacal kg/tonne	Phosphore kg/tonne	Potassium kg/tonne	Magnésium kg/tonne	Calcium kg/tonne
	4,96	1,45	0,82	4,53	0,44	2,36
	5,02	1,49	0,82	4,42	0,43	2,23
	4,91	1,49	0,83	4,39	0,44	2,33
	4,53	1,48	0,74	4,44	0,41	2,35
	4,82	1,48	0,80	4,47	0,46	2,37
	4,94	1,47	0,81	4,37	0,43	2,33
	5,16	1,46	0,86	4,39	0,46	2,31
	5,06	1,45	0,85	4,36	0,46	2,37
	4,94	1,46	0,84	4,38	0,45	2,33
	4,98	1,47	0,84	4,39	0,45	2,33
Moyenne	4,93	1,47	0,82	4,41	0,44	2,33
Ecart type	0,053	0,005	0,010	0,017	0,005	0,012
C.V.	3,40	1,10	3,84	1,22	3,51	1,69

C.V. = Coefficient de variation = $\frac{\text{variance(s)} \times 100}{\text{moyenne } (\bar{x})}$

3.5 Dosage des oligo-éléments

La détermination quantitative de ces éléments requiert tout d'abord la dessication et l'incinération d'une portion de la suspension homogène déjà préparée pour le dosage des éléments majeurs. Les teneurs en cuivre, zinc, fer et manganèse sont déterminées par absorption atomique à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme. Après développement de la couleur, les concentrations en bore et en molybdène sont mesurées au colorimètre.

3.5.1 Incinération

Instruments: Balance de précision de 0,01 et 0,0001 g
Etuve
Incinérateur

Réactif: Acide chloridrique (HCl) IN

Manipulations:

a) Placer, dans un bécher de 100 ml préalablement pesé, de 25 à 50 ml de la suspension fraîchement homogénéisée

b) Sécher à l'étuve à 70°C. Refroidir ensuite au dessicateur, peser et noter le poids de l'échantillon sec.

c) Incinérer alors à 500°C pendant une nuit.

d) Refroidir au dessicateur puis dissoudre complètement les cendres dans 50 ml HCl IN, en chauffant si nécessaire. Filtrer la solution à l'aide d'un papier filtre Whatman #40, 12,5 cm. Effectuer quelques lavages à l'eau chaude et porter le volume de la solution à 100 ml avec de l'eau distillée.

e) Finalement, transférer cette solution dans un contenant en nalgène d'où seront tirés les aliquots qui serviront aux dosages de Fe, Mn, Zn, Cu et Mo.

3.5.2 Dosage de Fe, Cu, Mn et Zn

Instruments: Spectrophotomètre à flamme d'absorption atomique de Varian
Techtron, modèle 1250

Réactifs: Acide chloridrique HCl (IN)
Solution standard de fer, 1000 ppm
Solution standard de cuivre, 1000 ppm
Solution standard de manganèse, 1000 ppm
Solution standard de zinc, 1000 ppm

Manipulations:

a) Préparer les solutions standards de Fe, Cu, Mn et Zn à partir des solutions standards de 1000 ppm et effectuer les dilutions avec HCl 1N de façon à reproduire le profil chimique des échantillons. Varier les concentrations de 1 à 20 ppm pour les solutions standards de Fe et 1 à 10 ppm pour celles de Cu, Mn et Zn.

b) Prélever, du récipient en nalgène contenant l'échantillon (section 3.5.1 e), un aliquot de 25 ml et doser par absorption atomique.

c) La concentration des fumiers, sur base de matière sèche, en Fe, Cu, Mn et Zn est obtenue par le calcul suivant:

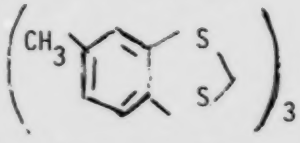
$$\left[\begin{array}{l}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{array}\right] = \frac{\text{ppm obtenus de la courbe standard} \times 100}{\text{poids de l'échantillon sec (section 3.5.1 b)}}$$

et pour ramener la valeur obtenue sur base de matière fraîche

$$\left[\begin{array}{l}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{array}\right] \times \frac{\text{\% matière sèche}}{100}$$

3.5.3 Dosage de molybdène

Le molybdène est dosé par colorimétrie. La détermination est basée sur la formation d'un complexe vert résultant de la réaction entre le molybdène et le dithiol:



(Gupta, C.U., Mackay, D.C., 1965)

Instruments: Balance de précision de 0,01 et 0,0001 g
Centrifugeuse, modèle B-20A de International Equipment Co., munie d'une couronne 8 places pour tubes de 50 ml de Sargent Welch.
Colorimètre "spectronic 100" de Baush and Lomb.

Réactifs: Solution standard de molybdène 1000 ppm
Sulfate d'ammonium ferrique ($FeNH_4(SO_4)_2$-$12H_2O$)
Iodure de potassium (KI)
Acide ascorbique (CH_2OH-CHOH-CHOOH:COHCOO)
Thiocarbamide (NH_2-CS-NH_2)
Dithiol-3,4 toluène de zinc (CH_3-C_6H_3-S_2ZM)
Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH)1%
Acide thioglycolique (CH_2-SH-COOH)
Acide tartarique (HOOC-$(CHOH)_2$-COOH) 50%
Amylacetate ($CH_3CO_2(CH_2)_4CH_3$)
Acide chloridrique (HCl) IN
Acide sulfurique (H_2SO_4)2%

Manipulations:

a) Solutions standards: Préparer des solutions standards de 0,01 ppm à 0,5 ppm à partir de la solution standard de 1000 ppm. Effectuer les dilutions avec HCl IN.

b) Préparation des réactifs:

i) Sulfate d'ammonium ferrique (9,1% poids/volume):
Dissoudre 18,2 g de $FeNH_4(SO_4)_2$-12 H_2O et porter le volume à 200 ml avec H_2SO_4 2%.

ii) Iodure de potassium 50% (poids/volume):
Dissoudre 5 g de KI dans 10 ml d'eau bidistillée.

iii) Acide ascorbique 5% (poids/volume):
Dissoudre 0,5 g d'acide ascorbique dans 10 ml d'eau bidistillée.

iv) Thiourée 10% (poids/volume):
Dissoudre 1 g de thiocarbamide dans 10 ml d'eau bidistillée.

v) Dithiol de zinc 0,2% (poids/volume):
Ajouter 0,2 g de dithiol - 3,4 toluène de zinc à 100 ml de NaOH 1% préalablement chauffé à 55°C. Agiter vigoureusement pendant 10 minutes. En maintenant l'agitation, ajouter 1,7 ml d'acide thioglycolique. Agiter encore 3 ou 4 minutes et filtrer sous vide à l'aide d'un filtre de fibre de verre.

c) Prélever 50 ml du récipient en nalgène contenant l'échantillon (section 3.5.1 e) et placer dans une ampoule à décantation de 125 ml. Répéter la manipulation pour les solutions standards.

d) Ajouter aux standards et à l'échantillon 0,5 ml de la solution de sulfate d'ammonium ferrique puis 0,3 ml de la solution de KI 50% fraîchement préparée. Laisser reposer 15 minutes en agitant occasionnellement.

e) Ajouter 0,3 ml de la solution d'acide ascorbique 5% et agiter jusqu'à ce que la coloration disparaisse. Si la couleur persiste, ajouter encore quelques gouttes d'acide ascorbique.

f) Ajouter 0,3 d'acide tartarique 50% et agiter. Ajouter 2 ml de thiourée 10% et agiter de nouveau. Ajouter 4 ml de dithiol de zinc 0,2%. Agiter 20 secondes puis laisser reposer 30 minutes.

g) Ajouter 10 ml d'amylacétate, agiter vigoureusement et laisser reposer 1 heure. Décanter et rejeter la phase aqueuse.

h) Recueillir la phase organique et centrifuger pendant 15 minutes à 2000 tours/min.

i) Prendre les lectures au colorimètre à 680 nm sur le surnageant en ajustant le zéro de l'appareil avec l'amylacétate.

j) La concentration des fumiers en molybdène, sur base de matière sèche, est donnée par la relation suivante:

$$\left[\begin{array}{l}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{array}\right] = \frac{\text{ppm obtenus de la courbe standard} \times 100}{\text{poids de l'échantillon sec (section 3.5.1 b)}}$$

et pour ramener la valeur obtenue sur base de matière fraîche:

$$\left[\begin{array}{l}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{array}\right] \times \frac{\text{\% matière sèche}}{100}$$

*N.B. les étapes (d) à (i) doivent s'effectuer à la fois pour les standards et les échantillons.

3.5.4 Dosage du bore

Le dosage du bore est basé sur la formation de rosocyanine, un composé rouge résultant de la réaction entre l'acide borique et une solution acide de curcumin (Dible, W.T. et al, 1954).

Instruments: Balance
Etuve
Incinérateur
Colorimètre Spectronic 100 de Baush and Lomb

Réactifs: Acide chloridrique (HCl) 0,1N
Acide oxalique HOOC-COOH - $2H_2O$
Curcumin ($C_{21}H_2O_6$)
Ethanol (CH_3CH_2OH) 95%
Mannitol $HOCH_2$ - $(CHOH)_4$ - CH_2OH
Solution standard de bore 1000 ppm

Manipulations: (Grewiling Thomas, 1966)

a) Préparation des réactifs:

i) Oxalate de curcumin:
Dissoudre 16 g. d'acide oxalique et 0,12 g de curcumin dans 200 ml d'éthanol 95%. S'il est réfrigéré, ce réactif est stable pendant une semaine.

ii) Solution de mannitol 0,1%:
Dissoudre 0,1 g de mannitol dans 100 ml d'eau distillée.

b) Préparation des solutions standards: A partir de la solution-mère de 1000 ppm, verier la concentration des standards 0,25 à 3 ppm.

c) Dans un creuset de porcelaine préalablement pesé, sécher à l'étuve à 70°C 5 à 10 g de la suspension fraîchement homogénisée. Refroidir au dessicateur et noter le poids de l'échantillon sec.

d) Incinérer à 600°C pendant une nuit.

e) Refroidir, puis dissoudre les cendres et ajuster le volume final à 10 ml avec HCl 0,1N.
Mélanger vigoureusement puis filtrer avec un papier Whatman #2, 11,0 cm.

f) Transférer 1 ml du filtrat dans un contenant de polypropylène ou de porcelaine d'au moins 100 ml et ajouter exactement 1 ml de mannitol et 5 ml d'oxalate de curcumin. Mélanger vigoureusement puis placer dans un bain d'eau de 55 ± 3°C.

g) Placer le mélange dans un bain d'eau de 55 ± 3°C. Evaporer à sec et maintenir l'échantillon dans le bain au moins 30 minutes de plus, à la même température.

h) Retirer alors du bain et ajouter exactement 25 ml d'éthanol. Bien mélanger et filtrer.

i) Prendre les mesures du colorimètre sur le filtrat à 540 mm.

j) La concentration des fumiers en bore, sur base de matière sèche, est donnée par la relation suivante:

$$\left[\begin{matrix}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{matrix}\right] = \frac{\text{ppm obtenus de la courbe standard x 10 ml}}{\text{poids de l'échantillon sec (section 3.5.4 c}}$$

et pour transformer la valeur obtenue sur base de matière fraîche:

$$\left[\begin{matrix}\text{Concentration en ppm sur} \\ \text{base de matière sèche}\end{matrix}\right] \times \frac{\text{\% matière sèche}}{100}$$

3.5.5 Vérification de la reproductivité des résultats obtenus par la méthode du dosage des oligo-éléments

Afin de vérifier l'efficacité des méthodes d'analyses choisies nous avons effectué les dosages de Cu, Mn, Zn, Fe, MO et B sur dix échantillons du même fumier de bovins laitiers. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 1A. Les résultats démontrent que la méthode a un degré de reproductivité bien acceptable. Seulement les données sur le dosage du bore ont un coefficient de variation assez élevé.

Tableau 1A Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins laitiers, évaluée pour dix échantillons d'une même provenance.

Echantillons	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Molybdène (Mo)	Fer (Fe)	Bore (B)
# 1	110	239	580	3.61	1656	28
# 2	110	236	546	3,29	1585	27
# 3	109	239	568	3,35	1618	30
# 4	108	245	584	3,45	1612	32
# 5	112	238	600	3,42	1718	35
# 6	106	241	568	3,45	1748	32
# 7	115	240	588	3,22	1732	27
# 8	108	242	561	3,24	1665	34
# 9	109	245	581	3,02	1653	32
#10	109	244	578	3,11	1711	26
Moyenne	110	241	575	3,32	1676	30
Ecart type	0,80	0,90	4,80	0,06	20	0,90
C.V.	2,24	1,27	2,64	5,32	3,81	9,78

Echantillons	ppm sur base de matière fraîche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Molybdène (Mo)	Fer (Fe)	Bore (B)
# 1	18	41	97	0,60	277	4,7
# 2	18	39	91	0,55	263	4,6
# 3	18	40	95	0,56	269	4,9
# 4	18	41	97	0,57	267	5,3
# 5	19	41	99	0,57	284	5,8
# 6	18	41	95	0,58	294	5,3
# 7	19	39	96	0,52	282	4,5
# 8	18	40	93	0,54	277	5,7
# 9	18	40	95	0,49	270	5,2
#10	18	40	96	0,51	283	4,3
Moyenne	18	40	95	0,55	277	5,0
Ecart type	0,10	0,20	0,70	0,01	2,99	0,16
C.V.	2,31	1,96	2,33	6,21	3,42	10,07

3.6 Détermination des pourcentages de matière sèche, de cendres, de matière organique, de carbone total et pH

Prélever 25 g de matière fraîchement homogénisée (noter le poids) que l'on place à l'étuve à 70°C pendant 24 heures ou jusqu'à poids constant. Le pourcentage de matière sèche est obtenu comme suit:

$$\% \text{ matière sèche} = \left(\frac{\text{poids de la matière sèche}}{\text{poids de la matière fraîche}} \times 100\right) \times \text{F.S.}$$

Incinérer les échantillons séchés au four à 500°C pendant 16 heures. Laisser refroidir et peser. Les pourcentages de cendres, de matière organique et de carbone total sont calculés de la façon suivante:

$$\% \text{ cendres} = \frac{\text{poids de la matière incinérée}}{\text{poids de la matière sèche}} \times 100$$

$$\% \text{ matière organique} = 100 - \% \text{ cendres}$$

ou

$$\frac{\text{poids de la matière sèche - poids des cendres}}{\text{poids de la matière sèche}} \times 100$$

$$\% \text{ carbone total} = \frac{\% \text{ matière organique}}{1,8}$$

Le pH est mesuré directement sur une portion de la suspension fraîchement homogénisée à l'aide d'un pH-mètre digital avec électrode combinée de verre et de calomel.

3.7 Enquête agronomique

Pour avoir une connaissance réaliste de l'utilisation des fumiers dans la région du bassin de la rivière St-François, nous avons procédé à une enquête agronomique auprès des producteurs. Deux types de questionnaire ont été mis sur pied:

1- Questionnaire commun à tous les producteurs visités.

2- Questionnaire supplémentaire soumis seulement à une dizaine de producteurs.

QUESTIONNAIRE COMMUN A TOUS LES PRODUCTEURS VISITES

- Nom et adresse

1. Combien de tonnes de fumier sont produites par année?

2. Combien d'animaux avez-vous?

Vaches.....	Veaux.....	Volailles.....
Bouvillons.....	Volailles.....	Moutons.....
Taures.....	Cochons.....	Chèvres.....

3. Les animaux sont-ils en pâturage?

   Si oui: date de mise en pâturage:.....

   date du début de l'hivernement:.....

4. Mode d'entreposage du fumier:

   Tas à l'extérieur:..... Plate-forme:.....

   Fosse:.....

5. A quelle distance d'un cours d'eau ou d'un fossé le fumier est-il entreposé?

6. Quand le fumier est-il épandu?

   Printemps..... Eté..... Automne.....

7. A quelle culture le fumier est-il destiné?

   Maïs..... Céréales..... Prairies.....

8. A quelle dose le fumier est-il épandu?

9. Après combien de jours le fumier est-il enfoui dans le sol?

10. Les animaux sont-ils alimentés à l'ensilage, au foin ou à la moulée?

11. Utilisez-vous de la litière?

    Quelle sorte?

    Combien de litière par animal?

QUESTIONNAIRE SOUMIS SEULEMENT A UNE DIZAINE DE PRODUCTEURS

1. Epandez-vous le fumier sur le même champ d'une année à l'autre?

2. Faites-vous faire une analyse du fumier avant de l'épandre?

3. Employez-vous un engrais chimique sur ce champ?

   Lequel:

   Quantité:

   Mode d'application:

4. Quelle proportion de fumier et d'engrais chimique est épandue sur ce champ?

   % fumier..... % engrais chimique.....

5. Employez-vous un pesticide?

   Lequel:

   Quantité:

   Moment d'application:

6. Faites-vous une rotation des cultures?

   Lesquelles:

7. Quel est le type de votre sol?

   Argile..... Loam..... Sable.....

8. Quelle est la topographie du terrain par rapport au cours d'eau?

   Pente abrupte..... Plateau.....

   Pente douce..... Autre.....

9. Administrez-vous des hormones ou des antibiotiques à vos animaux?

   Régulièrement:

   De temps en temps:

10. D'après vous quel type de fertilisation donne le meilleur rendement?

    Fumier..... Engrais chimique..... Fumier et engrais.....

RESULTATS

1. Résultats des analyses chimiques des fumiers

1.1 Fumier de bovins laitiers

Le tableau 2 présente la quantité d'éléments fertilisants contenus dans le fumier frais de bovins laitiers et donne les concentrations moyennes pour chacun de ces éléments. Dans le cas de l'azote total, les concentrations s'échelonnent de 4,02 à 7,68 kg/tonne alors que dans le cas de l'azote ammoniacal, elles se situent entre 0,78 et 2,72 kg/tonne. Le rapport moyen NH_4^+/N total étant de 0,35, il y a donc 35% de l'azote total qui est sous forme ammoniacale.

On observe des variations importantes d'un endroit à l'autre. Par exemple, Windsor présente un fumier riche et St-Praxède un fumier pauvre. Cependant, il n'a pas été possible de découper le bassin de la rivière St-François en secteurs où le fumier différerait de qualité.

Au tableau 3, on retrouve les teneurs des fumiers en éléments fertilisants mais exprimées cette fois sur base de matière sèche. Ce tableau montre bien que les variations de concentration d'un endroit à l'autre ne s'expliquent pas complètement par le facteur % de matière sèche. En effet, on observe des variations qui pourraient dépendre des modes d'entreposage, des types de litière et de l'alimentation des animaux. Il est à noter que les données du tableau 3 ont été obtenues par calcul à partir des valeurs du tableau 2 et des pourcentages de matière sèche (tableau 4).

Ces pourcentages de matière sèche du fumier de bovins laitiers ont varié de 14,00 à 23,10%, se chiffrant en moyenne à 19,44%. La matière sèche se composait de 87,07% de matière organique et de 12,95% de cendres (tableau 4). En moyenne, le pH et le rapport C/N des fumiers sont respectivement 7,47 et 18,47.

Les variations des concentrations en éléments fertilisants en fonction des périodes d'échantillonnage sont présentées aux tableaux 5 et 6. On remarque que les teneurs en éléments majeurs des fumiers frais et leurs pourcentages de matière sèche ont tendance à augmenter de mai à août tandis que la matière organique, le carbone total et le rapport C/N diminuent. Toutefois, notons que les variations sont moins importantes entre les périodes d'échantillonnage qu'entre les endroits.

FIGURE 3: BOVINS LAITIERS : SITES D'ECHANTILLONNAGE

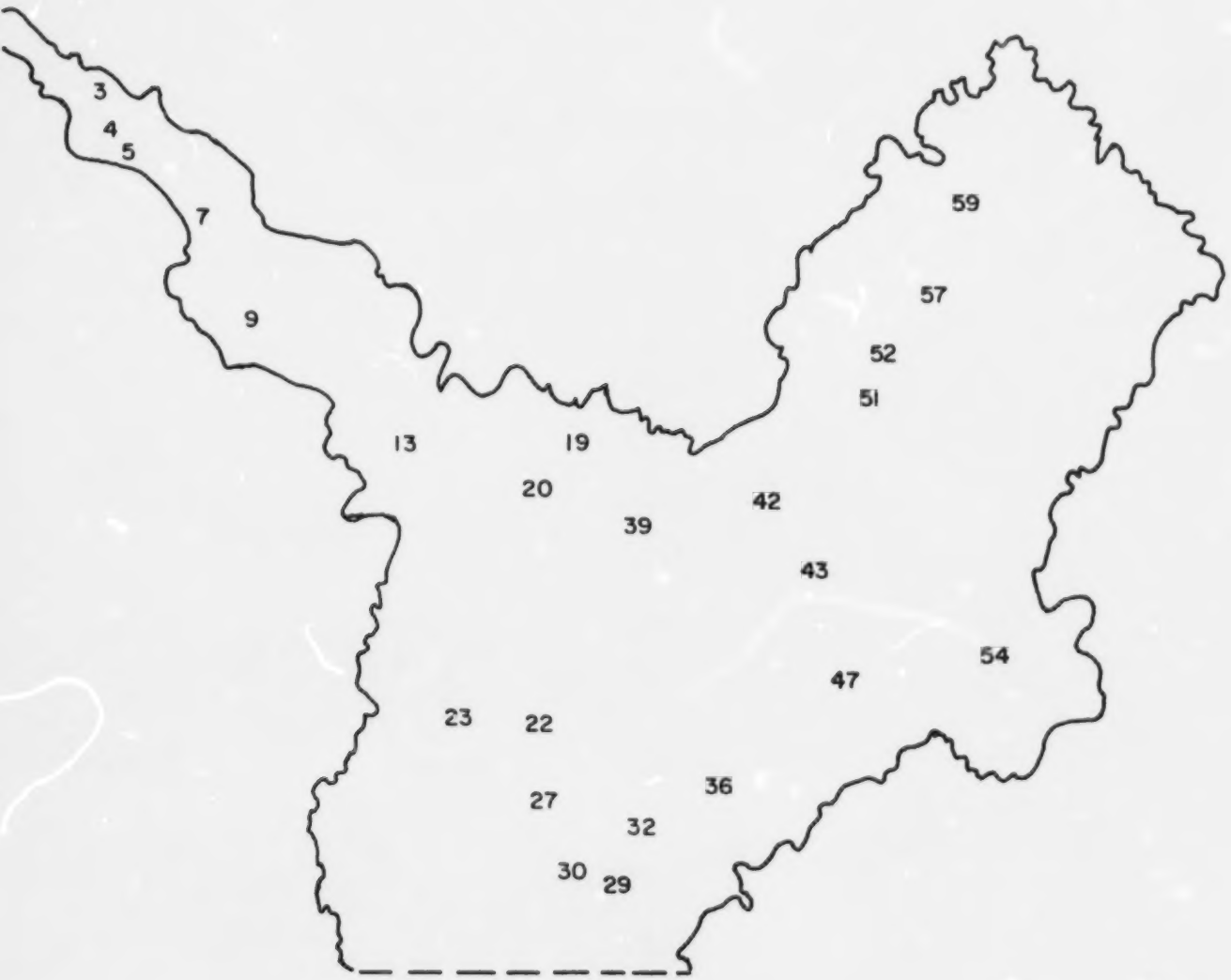


Tableau 2 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins laitiers dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
3-St-Zéphirin	6,60 b	2,32 b	1,20 e	3,78 i	2,65 d	0,86 c	0,59 ± 0,02 c
4-St-Bonaventure	5,79 d	1,66 j	1,13 fg	4,44 ed	2,23 g	0,53 g	0,29 ± 0,02 gh
5-St-Bonaventure	5.19 hi	2,06 ef	1,06 h	5,24 c	2,02 i	0,63 ef	0,93 ± 0,02 a
7-St-Majorique	4,82 j-l	1,88 i	1,17 e-g	5,57 b	2,40 f	0,61 f	0,70 ± 0,03 b
9-Wickham	4,84 jk	1,49 l	1,11 gh	3,56 j	1,68 m	0,60 f	0,23 ± 0,02 hi
13-Melbourne	4,67 k-m	1,70 j	0,66 l	3,56 j	2,05 hi	0,42 hi	0,19 ± 0,02 i
20-Windsor	7,68 a	2,72 a	1,56 c	4,61 d	3,32 a	1,06 a	0,70 ± 0,02 b
22-Rock Forest	4,73 k-m	1,89 i	0,96 i	3,90 hi	1,99 ij	0,54 g	0,60 ± 0,02 c
23-Magog	5,30 gh	2,02 fg	1,42 d	3,07 k	2,27 g	1,06 a	0,28 ± 0,03 gh
27-Massawipi	5,75 d	1,87 i	1,47 d	4,36 ef	2,90 b	0,97 b	0,39 ± 0,02 e
29-Barnston	5,50 ef	2,18 cd	1,19 ef	4,23 e-g	2,49 e	0,39 i	0,30 ± 0,03 fg
30-Barnston	5,06 i	2,19 c	1,13 fg	4,15 fg	2,13 h	0,51 g	0,36 ± 0,02 ef
32-Compton	5,36 f-h	1,96 h	1,79 b	4,20 fg	2,83 c	0,98 b	0,41 ± 0,02 e
36-Martinville	5,68 de	2,08 e	1,96 a	2,59 l	2,06 hi	0,53 g	0,36 ± 0,03 ef
39-Stoke	5,39 fg	1,99 gh	1,56 c	4,09 gh	2,44 ef	0,71 d	0,27 ± 0,02 gh
42-Bishopton	5,01 ij	1,28 n	0,90 j	4,12 g	2,45 ef	0,40 i	0,20 ± 0,02 i
43-Cookshire	6,12 c	0,78 p	1,93 a	6,11 a	3,33 a	1,07 a	0,51 ± 0,02 d
51-Weedon	5,05 i	1,60 k	0,91 ij	2,62 l	2,42 ef	0,53 g	0,49 ± 0,02 d
52-St-Gérard	4,16 n	1,85 i	0,82 k	2,89 k	1,89 kl	0,46 h	0,24 ± 0,02 g-i
54-La Patrie	4,56 m	1,38 m	1,20 e	2,99 k	2,39 f	0,71 d	0,17 ± 0,02 i
57-Stratford	4,63 lm	2,14 d	1,16 e-g	3,55 j	1,94 jk	0,67 ed	0,38 ± 0,02 e
59-St-Praxède	4,02 n	1,17 o	0,59 m	2,49 l	1,85 l	0,82 c	0,04 ± 0,02 j
Moyenne	5,27	1,83	1,22	3,91	2,35	0,69	0,39
Ecart type	0,07	0,02	0,02	0,07	0,03	0,02	
Coefficient de variation	3,73	2,74	5,03	5,63	3,39	7,12	16,53

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 3 Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins laitiers dans le bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche par tonne de fumier						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
3-St-Zéphirin	30,32 d	10,68 f	5,41 i	17,28 l	11,95 f	3,93 f	2,74 ± 0,11 c
4-St-Bonaventure	27,52 f	8,05 k	5,37 i	21,05 f-h	10,60 gh	2,54 ij	1,37 ± 0,11 hi
5-St-Bonaventure	24,81 hi	9,87 g	5,06 j	25,20 c	9,64 j	3,04 gh	4,45 ± 0,11 a
7-St-Majorique	23,42 j	9,19 i	5,80 h	25,93 bc	11,73 f	3,00 gh	3,38 ± 0,13 b
9-Wickham	25,04 hi	7,73 l	5,75 h	18,39 j-l	8,71 k	3,11 g	1,18 ± 0,11 ij
13-Melbourne	24,82 hi	9,02 i	3,53 l	18,95 i-k	10,90 g	2,22 kl	1,01 ± 0,11 j
20-Windsor	33,33 a	11,92 d	6,76 f	20,17 g-i	14,23 bc	4,59 cd	3,08 ± 0,11 b
22-Rock Forest	24,11 ij	9,59 h	4,91 j	19,85 h-j	10,16 i	2,76 hi	3,06 ± 0,11 b
23-Magog	31,04 cd	11,76 de	8,32 d	18,11 kl	13,26 e	6,25 a	1,71 ± 0,13 gh
27-Massawipi	26,00 gh	8,46 j	6,69 f	19,78 h-j	13,23 e	4,44 d	1,77 ± 0,11 g
29-Barnston	28,96 e	11,60 e	6,24 g	22,38 ef	13,14 e	2,07 l	1,62 ± 0,13 gh
30-Barnston	31,95 bc	13,92 b	6,89 f	27,74 a	13,47 de	3,04 gh	2,52 ± 0,11 cd
32-Compton	27,26 f	9,97 g	9,06 b	21,41 fg	14,34 a-c	4,99 b	2,12 ± 0,11 ef
36-Martinville	28,98 e	10,61 f	10,17 a	13,21 m	10,50 hi	2,76 hi	1,90 ± 0,13 fg
39-Stoke	31,13 cd	11,50 e	9,00 b	23,58 de	14,08 c	4,14 ef	1,57 ± 0,11 gh
42-Bishopton	24,21 ij	6,20 n	4,32 k	19,85 h-j	11,82 f	1,94 l	0,99 ± 0,11 j
43-Cookshire	27,08 fg	3,47 p	8,63 c	26,79 ab	14,65 a	4,84 bc	2,22 ± 0,11 d-f
51-Weedon	23,18 j	7,29 m	4,18 k	12,08 m	11,00 g	2,42 jk	2,28 ± 0,11 de
52-St-Gérard	28,79 e	12,86 c	5,73 h	20,11 g-i	13,17 e	3,20 g	1,65 ± 0,11 gh
54-La Patrie	27,84 ef	8,45 j	7,27 e	18,28 j-l	14,53 ab	4,34 ed	1,04 ± 0,11 ij
57-Stratford	32,66 ab	14,91 a	8,16 d	24,98 cd	13,70 d	4,73 bc	2,68 ± 0,11 c
59-St-Praxède	19,57 k	5,69 o	2,87 m	12,08 m	8,98 k	3,97 f	0,17 ± 0,11 k
Moyenne	27,36	9,67	6,37	20,33	12,17	3,56	2.01
Coefficient de variation	4,58	2,79	4,64	7,36	3,32	8,16	16,15
Ecart type	0,42	0.09	0,10	0,50	0,13	0,10	

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 4 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de bovins laitiers dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		Matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
3-St-Zéphirin	21,96 b	85,95± 0,27 fg	47,75± 0,15 gh	14,05± 0,28 cd	15,87± 0,71 ef	7,47
4-St-Bonaventure	21,04 c	86,65± 0,27 d-f	48,14± 0,15 e-g	13,35± 0,28 d-f	17,56± 0,71 c-e	6,76
5-St-Bonaventure	20,93 cd	85,54± 0,27 g	47,52± 0,15 h	14,46± 0,28 c	19,33± 0,71 b-d	8,08
7-St-Majorique	20,68 cd	87,91± 0,27 c	48,82± 0,15 cd	12,09± 0,28 gh	20,93± 0,71 b	7,04
9-Wickham	19,33 ef	89,22± 0,27 b	49,57± 0,15 b	10,78± 0,28 i	19,91± 0,71 bc	7,60
13-Melbourne	18,80 g	88,16± 0,27 c	48,98± 0,15 c	11,84± 0,28 h	19,78± 0,71 bc	7,12
20-Windsor	23,10 a	84,66± 0,27 h	47,03± 0,15 i	15,34± 0,28 b	14,11± 0,71 f	7,40
22-Rock Forest	19,71 e	90,20± 0,27 a	50,11± 0,15 a	9,80± 0,28 j	21,21± 0,71 b	8,20
23-Magog	17,00 h	90,42± 0,27 a	50,23± 0,15 a	10,25± 0,28 ij	16,35± 0,71 ef	7,29
27-Massawipi	22,17 b	86,55± 0,33 ef	48,08± 0,18 fg	13,45± 0,35 de	17,86± 0,87 c-e	8,01
29-Barnston	19,02 fg	85,96± 0,33 fg	47,75± 0,18 gh	14,04± 0,35 cd	16,42± 0,87 ef	6,59
30-Barnston	16,53 i	86,61± 0,33 ef	48,12± 0,18 e-g	13,39± 0,35 d-f	17,25± 0,87 de	7,67
32-Compton	19,68 e	77,80± 0,33 i	43,23± 0,18 j	21,69± 0,35 a	16,20± 0,87 ef	7,65
36-Martinville	19,59 e	89,10± 0,33 b	49,50± 0,18 b	10,85± 0,35 i	17,72± 0,87 c-e	5,83
39-Stoke	17,32 h	88,10± 0,27 c	48,94± 0,15 c	11,90± 0,28 h	15,73± 0,71 ef	8,03
42-Bishopton	20,77 cd	89,87± 0,27 ab	49,93± 0,15 ab	10,13± 0,28 ij	21,00± 0,71 b	7,73
43-Cookshire	22,85 a	87,49± 0,27 cd	48,60± 0,15 c-e	12,51± 0,28 f-h	19,06± 0,71 b-d	8,47
51-Weedon	22,03 b	84,42± 0,27 h	46,90± 0,15 i	15,58± 0,28 b	20,58± 0,71 b	7,08
52-St-Gérard	14,31 j	85,14± 0,27 gh	47,30± 0,15 hi	14,86± 0,28 bc	19,00± 0,71 b-d	7,42
54-La Patrie	16,26 i	87,05± 0,27 de	48,36± 0,15 d-f	12,95± 0,28 e-g	17,96± 0,71 c-e	7,58
57-Stratford	14,00 j	85,75± 0,27 fg	47,64± 0,15 gh	14,25± 0,28 cd	14,76± 0,71 f	7,44
59-St-Praxède	20,56 d	89,80± 0,27 ab	49,90± 0,15 ab	10,19± 0,28 ij	25,53± 0,71 a	7,92
Moyenne	19,44	87,07	48,37	12,95	18,47	7,47
Coefficient de variation	2,35	0,94	0,94	6,59	11,47	
Ecart type	0,15					

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 5 pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins laitiers pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	5,01 c	5,21 b	5,59 a	0,02
Azote ammoniacal	1,85 b	1,71 c	1,92 a	0,006
Phosphore	1,08 c	1,25 b	1,34 a	0,008
Potassium	3,76 b	3,97 a	4,01 a	0,03
Magnésium	0,66 c	0,72 a	0,68 b	0,006
Calcium	2,13 b	2,46 a	2,45 a	0,01
Sodium	0,42 ± 0,008 a	0,36 ± 0,008 b	0,40 ± 0,009 a	--
pH	7,41	7,61	7,36	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

Tableau 6 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N ainsi que kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins laitiers pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	27,52 b	26,50 c	28,07 a	0,15
Azote ammoniacal	10,32 a	8,91 c	9,78 b	0,03
Phosphore	5,93 c	6,44 b	6,73 a	0,04
Potassium	21,02 a	19,94 b	20,02 b	0,18
Magnésium	3,59 a	3,69 a	3,40 b	0,04
Calcium	11,67 c	12,51 a	12,34 b	0,05
Sodium	2,27 a	1,80 c	1,97 b	0,04
% matière sèche	18,60 c	19,76 b	19,96 a	0,06
% matière organique	90,44 ± 0,11 a	86,19 ± 0,10 b	85,33 ± 0,10 c	--
% cendres	9,68 ± 0,12 c	13,76 ± 0,10 b	14,67 ± 0,10 a	--
% carbone	50,25 a	47,89 b	47,40 b	0,06
Rapport C/N	19,58 ± 0,30 a	18,79 ± 0,26 b	17,30 ± 0,26 c	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

1.2 Fumier de bovins de boucherie

Les tableaux 7 et 8 regroupent les quantités d'éléments fertilisants, sur base de matière fraîche et de matière sèche, du fumier de bovins de boucherie et donnent les concentrations moyennes pour chacun de ces éléments. Dans le cas de ce fumier, 29% de l'azote total était sous forme ammoniacale.

On observe des variations de qualité de fumier d'un endroit à l'autre mais elles semblent moins importantes que dans le cas du fumier de bovins laitiers. La Patrie présente le fumier le plus riche alors que Ayer's Cliff possède le plus pauvre.

Les teneurs moyennes qu'on retrouve au tableau 8 se rapprochent mais demeurent légèrement en deçà des concentrations moyennes en éléments fertilisants du fumier de bovins laitiers (tableau 3). Les données du tableau 8 ont été obtenues par calcul à partir des valeurs compilées au tableau 7 et des pourcentages de matière sèche (tableau 9). Le pourcentage de matière sèche moyen du fumier de bovins de boucherie est de 20,90%, alors que le pH et le rapport C/N moyens sont respectivement 7,66 et 22,66.

Les variations des concentrations en éléments fertilisants en fonction des périodes d'échantillonnage sont présentées aux tableaux 10 et 11. De la même façon que pour celles des bovins laitiers, les teneurs en éléments fertilisants des fumiers frais et leurs pourcentages de matière sèche ont tendance à augmenter de mai à août alors que la matière organique et le carbone total diminuent. Toutefois, les variations sont moins importantes entre les périodes d'échantillonnage qu'entre les endroits.

FIGURE 4: BOVINS DE BOUCHERIE: SITES D'ECHANTILLONNAGE

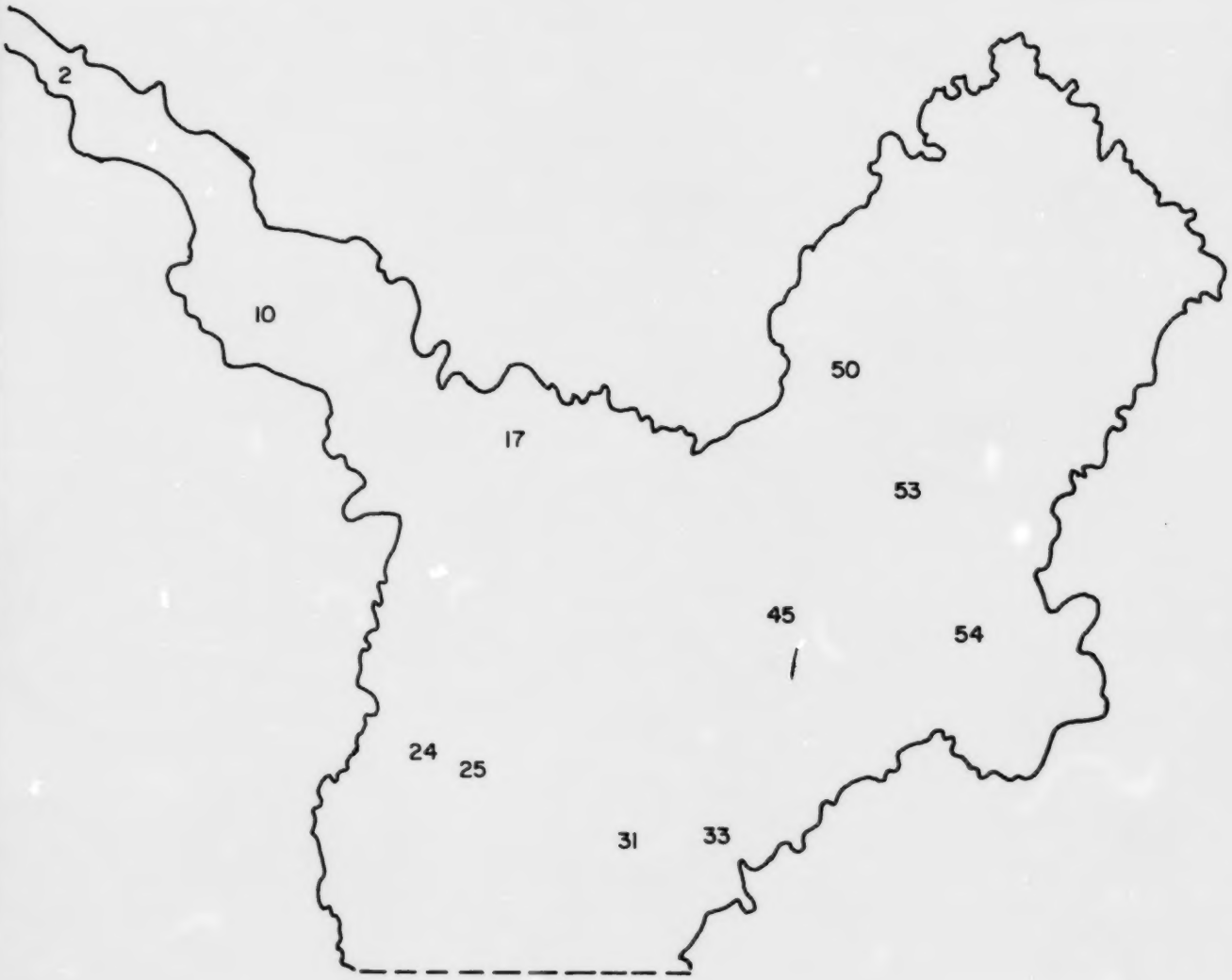


Tableau 7 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
2-St-François-du Lac	4,49 e	1,16 e	0,66 e	4,17 c	1,63 e	0,37 e	0,14 d
17-Richmond	3,77 f	1,01 f	0,40 g	3,92 e	1,77 d	0,35 e	0,16 c
24-Magog	4,58 e	0,94 g	0,59 f	3,16 f	1,42 f	0,96 a	0,31 b
25-Ayers Cliff	3,49 g	0,80 h	0,43 g	2,87 g	1,66 e	0,53 c	0,12 de
31-Coaticook	5,04 b	1,67 c	1,58 a	4,01 d	3,24 a	0,57 c	0,39 a
33-St-Herménégilde	4,74 d	1,19 e	0,78 d	4,08 d	2,15 c	0,27 f	0,10 ef
50-Weedon	4,93 c	1,91 e	0,83 c	4,38 b	2,10 c	0,46 d	0,11 e
53-Ste-Marguerite de Lingwick	4,82 d	1,32 d	0,84 c	4,70 a	2,31 b	0,26 f	0,10 ef
54-La Patrie	5,27 a	2,06 a	1,23 b	4,68 a	1,84 d	0,67 b	0,08 f
Moyenne	4,68	1,34	0,82	4,00	2,02	0,49	0,17
Coefficient de variation	2,10	2,56	6,06	2,25	4,50	8,30	12,26
Ecart type	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,007

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 8 Kilogrammes d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche par tonne de fumier						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
2- St-François-du Lac	20,39 e	5,27 f	2,98 f	18,96 d	7,40 e	1,69 e	0,61 ed
17-Richmond	18,46 g	4,93 g	1,97 i	19,19 d	8,69 d	1,70 e	0,77 c
24-Magog	19,87 f	4,13 i	2,58 g	13,85 f	6,20 f	4,10 a	1,34 b
25-Ayers Cliff	18,47 g	4,29 h	2,33 h	15,09 e	8,76 d	2,80 c	0,69 cd
31-Coaticook	25,12 b	8,35 c	7,86 a	19,98 c	16,19 a	2,83 c	1,98 a
33-St-Herménégilde	22,22 d	5,49 e	3,70 e	19,20 d	10,14 c	1,21 f	0,47 fg
50-Weedon	23,22 c	8,95 b	3,92 d	20,73 b	9,89 c	2,12 d	0,52 ef
53-Ste-Marguerite de Lingwick	25,28 b	6,81 d	4,42 c	24,71 a	12,15 b	1,33 f	0,54 ef
54-La Patrie	28,42 a	9,22 a	5,55 b	21,12 b	8,39 d	3,03 b	0,37 b
Moyenne	22,38	6,38	3,92	19,20	9,76	2,31	0,82
Coefficient de variation	2,10	2,47	5,60	2,32	4,66	8,72	12,76
Ecart type	0,16	0,05	0,07	0,15	0,15	0,07	0,04

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 9 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de bovins de boucherie dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		% Matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
2- St-François-du Lac	22,08 b	87,83 a-c	48,79 d	12,17 d	24,39 d	7,84 i
17-Richmond	20,41 f	90,09 ab	50,05 b	9,91 f	27,29 a	8,61 a
24-Magog	22,91 a	89,14 ab	49,52 b	10,86 e	25,20 c	6,90 i
25-Ayers Cliff	18,90 i	87,14 a-c	48,41 ef	12,86 bc	26,24 b	7,21 g
31-Coaticook	20,02 g	86,95 a-c	48,31 f	13,05 b	19,03 g	8,03 b
33-St-Herménégilde	21,38 d	89,92 ab	49,90 b	10,08 f	22,89 e	7,78 e
50-Weedon	21,29 e	84,64 bc	46,97 g	15,36 a	20,24 f	7,98 c
53-Ste-Marguerite de Lingwick	19,14 h	82,06 c	48,70 de	12,38 cd	19,39 g	7,47 f
54-La Patrie	22,02 c	91,61 a	50,90 a	8,38 g	18,10 h	7,17 h
Moyenne	20,91	87,65	49,06	11,68	22,66	7,66
Coefficient de variation	3,17	6,41	0,72	5,36	2,66	--
Ecart type	0,22	1,97	0,12	0,22	0,21	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 10 pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de bovins de boucherie pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	4,44 c	4,53 b	5,07 a	0,02
Azote ammoniacal	1,31 b	1,20 c	1,51 a	0,007
Phosphore	0,78 b	0,68 c	0,98 a	0,01
Potassium	3,83 c	3,94 b	4,22 a	0,02
Magnésium	0,46 b	0,46 b	0,56 a	0,008
Calcium	1,91 b	1,94 b	2,19 a	0,02
Sodium	0,22 a	0,11 c	0,17 b	0,004
pH	8,11 a	7,75 b	7,52 c	---

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

Tableau 11 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de bovins de boucherie pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	21,38 c	21,96 b	23,82 a	0,09
Azote ammoniacal	6,31 b	5,74 c	7,10 a	0,03
Phosphore	3,83 b	3,31 c	4,63 a	0,04
Magnésium	2,24 b	2,19 c	2,52 a	0,04
Potassium	18,39 c	19,11 b	20,11 a	0,09
Calcium	9,33 b	9,47 b	10,49 a	0,09
Sodium	1,14 a	0,55 c	0,78 b	0,02
% matière sèche	20,67 c	20,80 b	21,24 a	0,13
% matière organique	90,13 a	86,27 b	87,11 ab	1,13
% cendres	9,87 c	11,88 b	12,89 a	0,13
% carbone	50,07 a	48,96 b	48,37 c	0,07
Rapport C/N	24,72 a	23,06 b	20,65 c	0,12

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

1.3 Fumier de porcs

Les tableaux 12 et 13 montrent les quantités d'éléments fertilisants sur base de matière fraîche et de matière sèche, du fumier de porcs. Dans le cas du porc, le pourcentage de matière sèche entraîne des différences importantes entre le fumier frais et le fumier considéré sur base de matière sèche. De fait, la teneur moyenne en azote total qui est de 4,71 kg/tonne passe à 106,97 kg/tonne lorsqu'elle est exprimée sur base de matière sèche. Le fumier de porcs est donc beaucoup plus concentré en éléments fertilisants que le fumier de bovins laitiers et de bovins de boucherie lorsqu'ils sont comparés sur base de matière sèche. Dans le cas du fumier de porcs, l'azote ammoniacal représente un moyenne 57% de l'azote total.

Comme pour les deux espèces animales mentionnées auparavant, on observe pour le fumier de porcs des variations de concentration considérables d'un endroit à l'autre. Les fumiers les plus riches sont ceux de Stoke et de St-Elphège alors que Cookshire et St-Adolphe de Dudswell présentent les plus pauvres.

Le pourcentage de matière sèche varie de 1,55 à 17,45% et se chiffre en moyenne à 4,68%. Cette variation explique en partie les différences de teneurs en éléments minéraux observées d'un endroit à l'autre. Le pH et le rapport C/N moyens sont respectivement de 6,94 et 4,77.

L'étude de l'interaction concentration-période d'échantillonnage n'a pas été effectuée puisque dans la plupart des cas, les producteurs n'ont procédé à l'épandage qu'une seule fois pendant l'été (voir chapitre 2).

FIGURE 5: PORCS: SITES D'ECHANTILLONNAGE

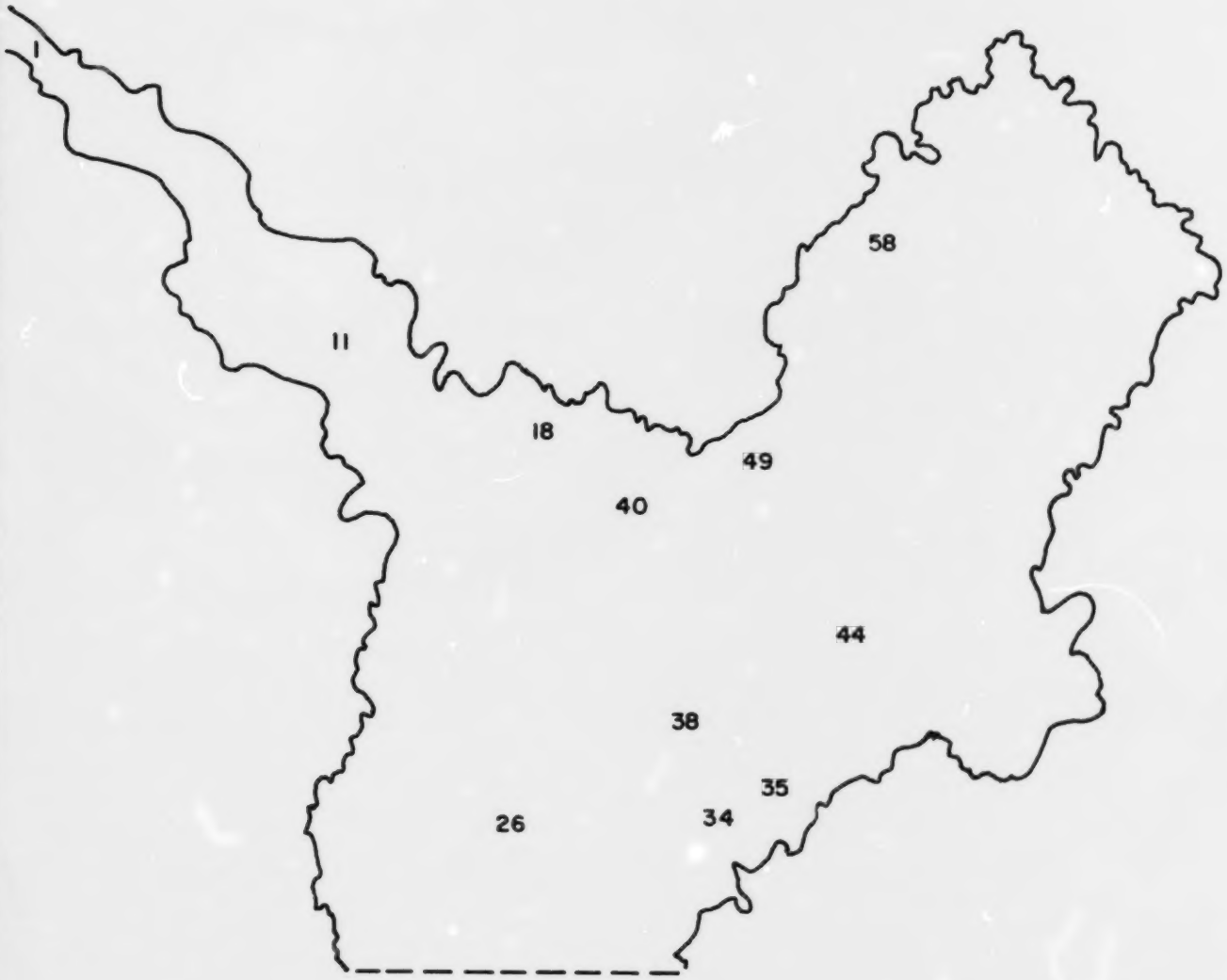


Tableau 12 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium par tonne de fumier frais			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
1-St-Elphège	13,47 ± 0,15 a	4,01 ± 0,12 b	3,31 ± 0,05 b	1,67 ± 0,34 bc
18-Windsor	4,64 ± 0,15 c	2,74 ± 0,12 c	2,45 ± 0,05 c	1,22 ± 0,34 c
26-Ayer's Cliff	2,98 ± 0,11 f	2,07 ± 0,08 ef	0,78 ± 0,03 e	0,93 ± 0,24 c
34-Ste-Edwidge	3,84 ± 0,15 de	2,32 ± 0,12 de	1,04 ± 0,05 d	1,50 ± 0,34 bc
35-Ste-Edwidge	3,33 ± 0,11 ef	2,37 ± 0,08 cd	0,56 ± 0,03 f	2,34 ± 0,24 ab
38-Lennoxville	3,31 ± 0,15 ef	2,63 ± 0,12 cd	0,08 ± 0,05 h	1,11 ± 0,34 c
40-Stoke	10,43 ± 0,15 b	5,85 ± 0,12 a	3,64 ± 0,05 a	2,84 ± 0,34 a
44-Cookshire	-- --	1,90 ± 0,12 f	0,25 ± 0,05 g	0,81 ± 0,34 c
49-St-Adolphe de Dudswell	2,37 ± 0,11 g	1,89 ± 0,08 f	0,45 ± 0,03 f	0,71 ± 0,24 c
58-Garthby	3,53 ± 0,15 de	2,91 ± 0,12 c	0,72 ± 0,05 e	1,19 ± 0,34 c
Moyenne	4,71	2,69	1,16	1,41
Coefficient de variation	5,67	7,75	7,04	41,33

Endroits	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium par tonne de fumier frais		
	Ca	Mg	Na
1-St-Elphège	1,76 ± 0,19 c	0,80 ± 0,03 c	0,63 ± 0,04 b
18-Windsor	2,16 ± 0,19 b	0,93 ± 0,03 b	0,26 ± 0,04 ef
26-Ayer's Cliff	0,97 ± 0,14 e	0,40 ± 0,02 de	0,37 ± 0,03 de
34-Ste-Edwidge	1,43 ± 0,19 d	0,41 ± 0,03 d	0,51 ± 0,04 c
35-Ste-Edwidge	0,77 ± 0,14 f	0,27 ± 0,02 fg	0,40 ± 0,03 cd
38-Lennoxville	0,75 ± 0,19 fg	0,14 ± 0,03 h	0,50 ± 0,04 c
40-Stoke	4,11 ± 0,19 a	1,31 ± 0,03 a	0,88 ± 0,04 a
44-Cookshire	0,39 ± 0,19 h	0,23 ± 0,03 g	0,11 ± 0,04 g
49-St-Adolphe de Dudswell	0,55 ± 0,14 gh	0,23 ± 0,02 g	0,16 ± 0,03 fg
58-Garthby	-- --	0,33 ± 0,03 ef	0,22 ± 0,04 fg
Moyenne	1,26	0,46	0,38
Coefficient de variation	10,25	9,87	19,96

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05 pour un élément donné

Tableau 13 Kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium sur base de matière sèche par tonne de fumier			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
1-St-Elphège	191,85 ± 5,43 a	57,10 ± 5,99 c	47,19 ± 1,31 a	23,85 ± 13,82 b
18-Windsor	63,53 ± 5,43 ef	37,57 ± 5,99 de	33,57 ± 1,31 b	16,67 ± 13,82 b
26-Ayer's Cliff	73,23 ± 3,84 ef	51,89 ± 4,24 cd	19,43 ± 0,93 de	23,30 ± 9,77 b
34-Ste-Edwidge	90,48 ± 5,43 cd	54,78 ± 5,99 c	24,59 ± 1,31 c	35,47 ± 13,82 a
35-Ste-Edwidge	126,99 ± 3,84 b	90,69 ± 4,24 b	21,01 ± 0,93 cd	90,96 ± 9,77 a
38-Lennoxville	128,24 ± 5,43 b	102,08 ± 5,99 b	2,82 ± 1,31 f	43,19 ± 13,82 b
40-Stoke	59,74 ± 5,43 f	33,53 ± 5,99 e	20,83 ± 1,31 cd	16,26 ± 13,82 b
44-Cookshire	--- ---	122,67 ± 5,99 a	16,43 ± 1,31 e	52,32 ± 13,82 b
49-St-Adolphe de Dudswell	122,67 ± 3,84 b	98,07 ± 4,24 b	23,49 ± 0,93 c	36,87 ± 9,77 b
58-Garthby	104,01 ± 5,43 c	85,73 ± 5,99 b	21,31 ± 1,31 cd	35,20 ± 13,82 b
Moyenne	106,97	74,98	22,66	40,40
Coefficient de variation	8,80	13,84	10,04	59,27

Endroits	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium sur base de matière sèche par tonne de fumier		
	Ca	Mg	Na
1-St-Elphège	25,01 ± 5,46 cd	11,43 ± 0,67 bc	9,01 ± 1,80 cd
18-Windsor	29,62 ± 5,46 b	12,71 ± 0,67 ab	3,61 ± 1,80 e
26-Ayer's Cliff	23,70 ± 3,86 d	9,92 ± 0,95 b-d	9,73 ± 1,27 cd
34-Ste-Edwidge	33,73 ± 5,46 a	9,74 ± 0,67 cd	11,95 ± 1,80 bc
35-Ste-Edwidge	28,09 ± 3,86 bc	10,26 ± 0,95 b-d	15,19 ± 1,27 bc
38-Lennoxville	29,72 ± 5,46 b	5,40 ± 0,67 e	19,48 ± 1,80 a
40-Stoke	23,57 ± 5,46 d	7,50 ± 0,67 de	5,04 ± 1,80 de
44-Cookshire	24,88 ± 5,46 cd	14,60 ± 0,67 a	7,31 ± 1,80 c-e
49-St-Adolphe de Dudswell	28,62 ± 3,86 bc	11,86 ± 0,95 bc	8,23 ± 1,27 c-e
58-Garthby	--- ---	9,73 ± 0,67 cd	6,62 ± 1,20 c-e
Moyenne	8,33	10,40	9,95
Coefficient de variation	27,28	15,85	31,31

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05 pour un élément donné

Tableau 14 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de porcs dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		% matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
1-St-Elphège	7,02 ± 0,20 b	79,03 ± 4,53 ab	43,91 ± 2,66 a	20,97 ± 4,70 ab	2,29 ± 0,35 f	6,56 c
18-Windsor	7,30 ± 0,20 b	82,50 ± 4,53 ab	45,83 ± 2,66 a	17,50 ± 4,70 ab	7,22 ± 0,35 a	7,32 c
26-Ayer's Cliff	4,10 ± 0,14 c	81,59 ± 3,21 ab	45,33 ± 1,88 a	18,41 ± 3,32 ab	6,22 ± 0,26 b	---
34-Ste-Edwidge	4,24 ± 0,20 c	77,59 ± 4,53 ab	43,11 ± 2,66 a	22,41 ± 4,70 ab	4,76 ± 0,35 cd	6,68 f
35-Ste-Edwidge	2,64 ± 0,14 e	83,05 ± 3,21 ab	46,14 ± 1,88 a	16,96 ± 3,32 ab	3,77 ± 0,26 de	7,15 d
38-Lennoxville	2,58 ± 0,20 e	73,11 ± 4,53 ab	40,62 ± 2,66 a	26,89 ± 4,70 ab	3,17 ± 0,35 ef	6,44 i
40-Stoke	17,45 ± 0,20 a	83,81 ± 4,53 ab	46,56 ± 2,66 a	16,20 ± 4,70 ab	7,79 ± 0,35 a	7,06 l
44-Cookshire	1,55 ± 0,20 f	71,72 ± 4,53 b	39,84 ± 2,66 a	28,28 ± 4,70 a	-- --	6,50 h
49-St-Adolphe de Dudswell	1,93 ± 0,14 f	82,83 ± 3,21 ab	47,16 ± 1,88 a	15,02 ± 3,32 ab	3,84 ± 0,26 de	7,39 b
58-Garthby	3,39 ± 0,20 d	86,43 ± 4,53 a	47,87 ± 2,66 a	13,56 ± 4,70 b	4,61 ± 0,35 cd	7,40 a
Moyenne	4,68	80,70	45,00	18,97	4,79	6,94
Coefficient de variation	7,37	9,73	10,26	42,94	13,12	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

1.4 Fumier de volailles

Les quantités d'éléments fertilisants, sur base de matière fraîche et de matière sèche, que contient le fumier de volailles, sont consignées aux tableaux 15 et 16 qui donnent également les concentrations moyennes pour chacun de ces éléments. L'azote ammoniacal constitue en moyenne 46% de l'azote contenu dans le fumier de volailles. Les variations sont très importantes. En effet, l'azote total, par exemple, varie de 9,83 kg/tonne à Johnville, à 33,76 kg/tonne à St-Germain.

Les données du tableau 16 ont été obtenues par calcul à partir des valeurs du tableau 15 et des pourcentages de matière sèche qu'on retrouve au tableau 17. Le pH et le rapport C/N moyens sont respectivement 7,93 et 7,36. Le pourcentage de matière sèche moyen est 42,99%. C'est le plus élevé de ceux déjà mentionnés dans le cas des bovins laitiers, des bovins de boucherie et des porcs. C'est ce qui explique que le fumier de volailles sur base de matière fraîche, c'est-à-dire tel qu'on l'applique sur les cultures, est le plus concentré en éléments fertilisants.

La relation entre les teneurs du fumier en éléments fertilisants et les périodes d'échantillonnage est présentée aux tableaux 18 et 19. Contrairement au fumier de bovins laitiers et de bovins de boucherie, la tendance à l'augmentation du pourcentage de matière sèche et des concentrations en éléments fertilisants est beaucoup moins évidente dans le cas du fumier de volailles. Toutefois, les variations sont encore moins importantes entre les périodes d'échantillonnage qu'entre les endroits.

FIGURE 6: CHEVAUX, CHEVRES, VOLAILLES, MOUTONS: SITES D'ECHANTILLONNAGE

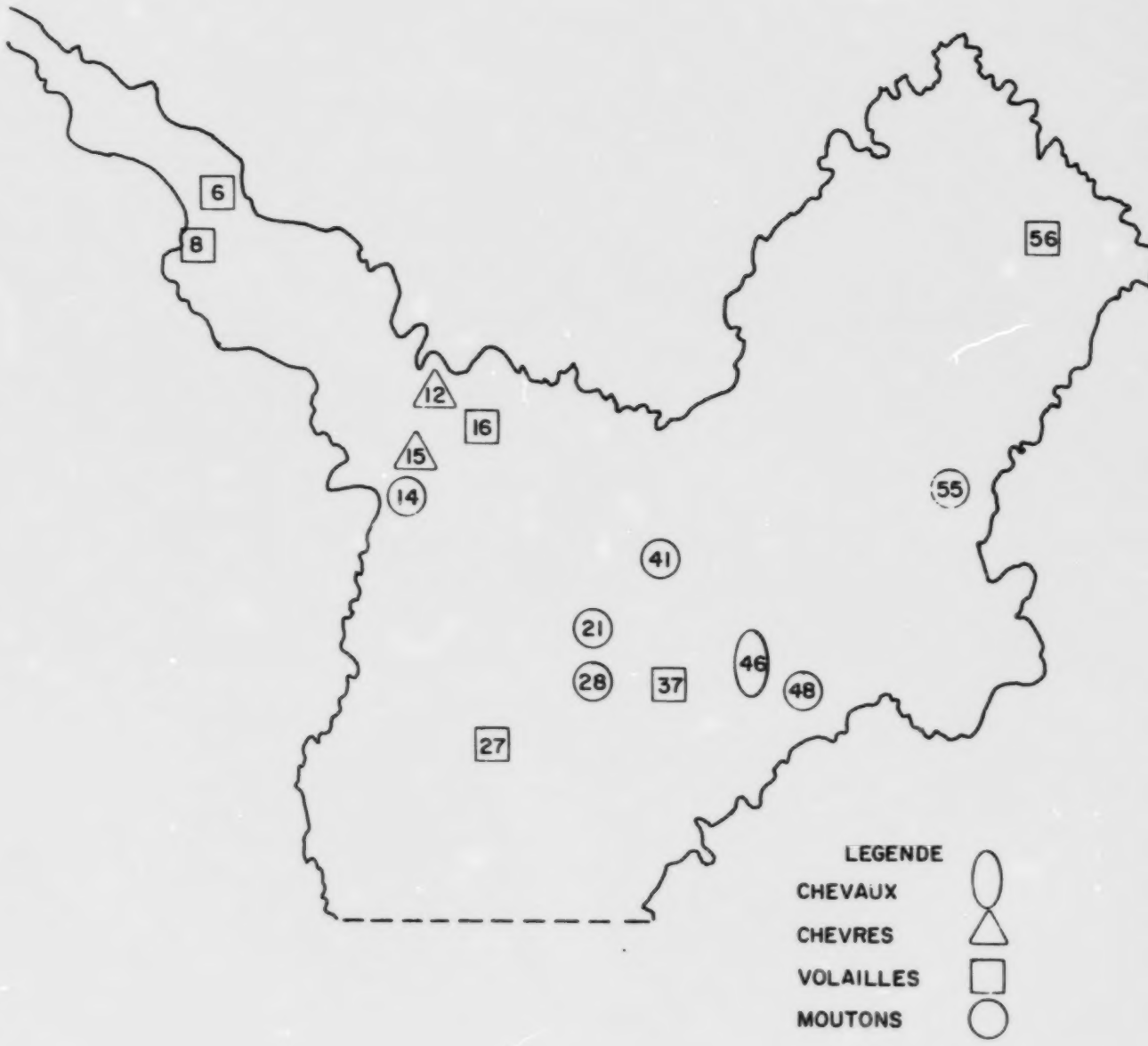


Tableau 15 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de volailles dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium par tonne de fumier frais			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
6-St-Cyrille	28,63 ± 0,71 b	11,68 ± 0,55 b	10,83 ± 0,64 a	14,13 ± 0,49 b
8-St-Germain	33,76 ± 0,71 a	11,78 ± 0,55 b	9,54 ± 0,64 ab	13,98 ± 0,49 b
16-Richmond	21,48 ± 0,87 c	14,05 ± 0,67 a	11,78 ± 0,79 a	5,45 ± 0,60 c
27-Massawipi	16,77 ± 0,71 d	10,30 ± 0,55 b	5,72 ± 0,64 c	5,97 ± 0,49 c
37-Johnville	9,83 ± 1,23 e	7,54 ± 0,95 c	3,13 ± 1,11 d	2,15 ± 0,85 d
56-Lambton	15,71 ± 1,23 d	4,10 ± 0,95 d	7,20 ± 1,11 bc	16,37 ± 0,85 a
Moyenne	23,53	10,85	8,63	10,13
Coefficient de variation	9,08	15,24	22,33	14,47

Endroits	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium par tonne de fumier frais		
	Ca	Mg	Na
6-St-Cyrille	17,52 ± 1,04 b	4,25 ± 0,14 ab	2,73 ± 0,11 b
8-St-Germain	14,62 ± 1,04 b	3,79 ± 0,14 b	4,63 ± 0,11 a
16-Richmond	32,79 ± 1,27 a	3,69 ± 0,18 b	1,91 ± 0,13 c
27-Massawipi	17,19 ± 1,04 c	2,13 ± 0,14 c	0,72 ± 0,11 d
37-Johnville	7,69 ± 1,80 c	0,92 ± 0,25 d	0,23 ± 0,19 e
56-Lambton	10,33 ± 1,80 c	4,65 ± 0,25 a	1,77 ± 0,19 c
Moyenne	17,82	3,34	2,31
Coefficient de variation	17,50	12,94	14,00

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 16 Kilogrammes d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche, par tonne de fumier de volailles dans la région de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium sur base de matière sèche par tonne de fumier			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
6-St-Cyrille	59,22 ±3,04 cd	24,13 ± 2,28 c	22,41 ± 1,80 b	29,19 ± 1,79 a
8-St-Germain	52,01 ±3,04 d	18,47 ± 2,28 c	14,76 ± 1,80 c	21,63 ± 1,79 b
16-Richmond	72,71 ±3,73 b	47,89 ± 2,79 b	38,81 ± 2,21 a	19,45 ± 2,20 b
27-Massawipi	65,55 ±3,04 bc	40,41 ± 2,28 b	22,39 ± 1,80 b	23,18 ± 1,79 ab
37-Johnville	86,59 ±5,27 a	66,46 ± 3,95 a	27,54 ± 3,12 b	18,95 ± 3,11 b
56-Lambton	22,96 ±5,27 e	5,99 ± 3,95 d	10,52 ± 3,12 c	23,94 ± 3,11 ab
Moyenne	60,41	32,09	22,64	23,37
Coefficient de variation	15,11	21,32	23,90	23,02

Endroits	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium sur base de matière sèche par tonne de fumier		
	Ca	Mg	Na
6-St-Cyrille	36,28 ±3,94 c	8,81 ± 0,34 b	5,65 ± 0,22 b
8-St-Germain	22,66 ±3,94 cd	5,85 ± 0,34 c	7,16 ± 0,22 a
16-Richmond	111,52 ±4,83 a	12,33 ± 0,41 a	6,40 ± 0,27 ab
27-Massawipi	66,39 ±3,94 b	8,18 ± 0,34 b	2,72 ± 0,22 c
37-Johnville	67,71 ±6,83 b	8,12 ± 0,58 b	2,06 ± 0,39 c
56-Lambton	15,10 ±6,83 d	6,80 ± 0,58 c	2,58 ± 0,39 c
Moyenne	52,45	8,31	4,93
Coefficient de variation	22,54	12,11	13,61

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 17 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de volailles dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		% matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
6-St-Cyrille	48,29 ±1,31 b	75,54 ±1,39 b	42,01 ±0,77 b	24,46 ±1,40 c	7,13 ±0,22 c	8,18 ± 0,18 ab
8-St-Germain	65,13 ±1,31 a	84,32 ±1,39 a	46,85 ±0,77 a	15,68 ±1,40 d	9,05 ±0,22 b	7,73 ± 0,18 b
16-Richmond	29,60 ±1,60 c	51,12 ±1,71 d	28,39 ±0,95 d	48,91 ±1,71 a	3,90 ±0,26 d	8,71 ± 0,22 a
27-Massawipi	26,54 ±1,31 b	57,63 ±1,71 c	32,02 ±0,95 c	42,37 ±1,71 b	4,19 ±0,26 d	7,57 ± 0,22 b
37-Johnville	11,35 ±2,26 d	61,98 ±2,42 c	34,43 ±1,34 c	38,02 ±2,42 b	3,97 ±0,37 d	7,99 ± 0,31 ab
56-Lambton	68,40 ±2,26 b	80,92 ±2,42 ab	44,96 ±1,34 ab	19,08 ±2,42 cd	19,56 ±0,37 a	6,87 ± 0,31 c
Moyenne	42,99	70,00	38,90	30,00	7,36	7,93
Coefficient de variation	9,12	5,98	5,96	13,98	8,79	6,77

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 18 pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de volailles pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	24,73 c	26,58 b	27,84 a	0,09
Azote ammoniacal	9,53 a	13,08 c	11,15 b	0,07
Phosphore	8,20 b	9,54 a	8,35 b	0,07
Potassium	11,00 b	12,08 a	10,99 b	0,04
Magnésium	3,51 a	3,55 a	3,10 b	0,02
Calcium	15,65 b	19,68 a	14,01 c	0,11
Sodium	2,81 a	2,85 a	2.43 b	0,03
pH	8,63 a	8,05 b	7,16 c	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

Tableau 19 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de volailles pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	51,13 c	61,08 b	64,57 a	0,20
Azote ammoniacal	21,14 b	31,63 a	30,24 b	0,16
Phosphore	17,39 b	21,91 a	20,26 b	0,15
Potassium	22,50 c	26,76 a	24,73 b	0,09
Magnésium	7,54 b	8,07 a	7,22 c	0,04
Calcium	35,04 c	52,26 a	38,02 b	0,38
Sodium	5,34 b	5,74 a	4,46 c	0,07
% Matière sèche	47,09 a	45,29 b	47,58 a	0,30
% Matière organique	82,41 ± 0,84 a	72,35 ± 0,68 b	70,99 ± 0,68 b	--
% Cendres	17,59 ± 0,84 b	27,65 ± 0,68 a	29,01 ± 0,68 a	--
% Carbone	45,78 ± 0,47 a	40,20 ± 0,38 b	39,48 ± 0,38 b	--
Rapport C/N	8,26 ± 0,08 a	6,78 ± 0,07 b	6,68 ± 0,07 b	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

1.5 Fumier de moutons

On retrouve aux tableaux 20 et 21 les quantités d'éléments fertilisants, sur base de matière fraîche et de matière sèche, contenus dans le fumier de moutons ainsi que les concentrations moyennes pour chacun de ces éléments. Dans ces tableaux, les variations des teneurs en éléments minéraux d'un endroit à l'autre sont présentes mais beaucoup moins importantes que dans le cas des volailles. L'azote ammoniacal constitue en moyenne 40% de l'azote contenu dans le fumier de moutons.

Parmi les données présentées au tableau 22, on peut voir le pH et le rapport C/N moyens qui sont respectivement 8,07 et 16,38. Le pourcentage de matière sèche varie de 22,53 à 39,22% tenant une moyenne de 31,91%.

Aux tableaux 23 et 24, on visualise la relation entre les teneurs en éléments fertilisants et les périodes d'échantillonnage. Comme dans le cas des volailles, la tendance à l'augmentation des concentrations de mai à août est moins évidente que pour les autres espèces.

Tableau 20 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
23-Waterville	9,35 c	2,86 e	1,39 f	9,13 d	4,75 e	1,29 c	1,38 ± 0,006 b
21-North Hatley	9,74 b	4,42 b	1,44 e	10,62 b	4,06 f	1,19 e	0,61 ± 0,006 c
14-Kingsbury	8,48 e	3,11 d	1,72 d	8,11 e	7,64 a	1,50 b	0,86 ± 0,006 e
41-East Angus	6,68 f	1,84 f	2,40 b	9,17 c	5,44 c	1,28 d	1,60 ± 0,006 a
48-Randboro	8,67 d	3,79 c	1,79 c	10,98 a	5,78 b	0,68 f	0,90 ± 0,01 d
55-Milan	11,68 a	5,71 a	3,04 a	7,68 f	4,98 d	1,65 a	1,01 ± 0,006 c
Moyenne	9,10	3,62	1,97	9,28	5,44	1,27	1,07
Ecart type	0,05	0,02	0,02	0,04	0,15	0,01	0,07
Coefficient de variation	1,49	1,82	2,60	1,39	8,00	2,98	2,21

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 21 Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche par tonne de fumier						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
28-Waterville	23,92 e	7,28 f	3,59 f	23,47 e	12,14 e	3,27 e	3,57 ± 0,02 b
21-North Hatley	28,93 c	13,08 b	4,29 e	31,50 d	12,06 e	3,54 d	1,82 ± 0,02 f
14-Kingsbury	25,51 e	9,35 d	5,16 d	24,41 b	22,96 b	4,51 c	2,59 ± 0,02 e
55-Milan	36,82 a	18,28 a	9,60 b	24,36 d	15,65 d	5,25 b	3,24 ± 0,02 c
48-Randboro	28,02 d	12,32 c	5,83 c	35,36 b	18,82 c	2,19 f	2,90 ± 0,03 d
41-East Angus	30,00 b	7,93 e	10,94 a	41,19 a	24,22 a	5,72 a	7,12 ± 0,02 a
Moyenne	28,87	11,37	6,57	30,05	17,64	4,08	3,58
Ecart type	0,14	0,07	0,06	0,16	0,39	0,04	0,02
Coefficient de variation	1,50	1,85	2,66	1,58	6,64	2,91	2,15

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05 pour un élément donné

Tableau 22 Pourcentage de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de moutons dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroit	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		% matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
28-Waterville	39,22 a	87,44 a	48,58 a	11,43 e	20,39 a	8,0 c
21-North Hatley	33,67 b	84,88 b	47,16 b	15,12 d	16,31 c	7,70 f
14-Kingsbury	33,26 b	83,08 c	46,16 c	16,92 c	18,14 b	8,36 b
55-Milan	31,86 c	82,22 c	45,68 c	18,49 b	12,44 e	7,74 e
48-Randboro	30,93 d	82,47 c	45,82 c	17,53 bc	16,39 c	7,95 d
41-East Angus	22,53 e	77,67 d	43,15 d	22,33 a	14,64 d	8,62 a
Moyenne	31,91	82,96	46,09	16,97	16,38	8,07
Ecart type	0,26	0,30	0,16	0,50	0,10	
Coefficient de variation	2,45	1,07	1,07	8,69	1,93	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 23 pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de moutons pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	8,94 b	9,22 a	9,14 a	0,03
Azote ammoniacal	3,53 c	3,74 a	3,59 b	0,02
Phosphore	1,84 c	1,99 b	2,06 a	0,01
Potassium	9,09 c	9,52 a	9,23 b	0,03
Magnésium	1,24 b	1,45 a	1,11 c	0,009
Calcium	4,60 b	7,03 a	4,69 b	0,10
Sodium	1,03 c	1,11 a	1,07 b	0,006
pH	7,86 c	8,21 a	7,98 b	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

Tableau 24 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de moutons, pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
Azote total	28,26 b	28,08 c	30,26 a	0,10
Azote ammoniacal	11,34 a	11,39 a	11,38 a	0,05
Phosphore	6,15 c	6,23 b	7,32 a	0,04
Potassium	28,93 c	29,59 b	31,64 a	0,11
Magnésium	3,94 b	4,50 a	3,79 c	0,03
Calcium	14,69 c	22,04 a	16,20 b	0,28
Sodium	3,39 c	3,56 b	3,82 a	0,02
% matière sèche	32,27 b	32,83 a	30,64 c	0,18
% matière organique	85,85 a	80,82 c	82,22 b	0,21
% cendres	13,59 c	19,18 a	18,14 b	0,35
% carbone	47,69 a	44,89 c	45,68 b	0,12
Rapport C/N	17,53	16,16	15,47	0,07

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05 dans une même rangée

1.6 Fumier de chèvres et de chevaux

Les tableaux 25 et 26 regroupent les quantités d'éléments fertilisants, sur base de matière fraîche et de matière sèche, contenus dans le fumier de chèvres et de chevaux ainsi que les concentrations moyennes pour chacun de ces éléments. Avec seulement deux sites d'échantillonnage dans le cas des chèvres et un site d'échantillonnage dans le cas des chevaux, il est impossible de vérifier s'il y a ou non une variation entre les endroits. Toutefois, il est logique de supposer qu'avec un grand nombre d'échantillonnages chez des éleveurs de chèvres et de chevaux, nous aurions observé une variation de la même façon que nous l'avons fait pour les autres espèces animales.

Au tableau 27, on retrouve le pourcentage de matière sèche moyen de fumier de chèvres qui est de 34,25%, celui du fumier de chevaux étant de 26,28%.

L'interaction concentrations-périodes d'échantillonnage est présentée aux tableaux 28 et 29. Chez les chèvres, la tendance à l'augmentation des concentrations en éléments fertilisants et des pourcentages de matière sèche pour la période de mai à août est préservée. Dans le cas du fumier de chevaux, il est impossible d'établir une véritable tendance avec un seul point d'échantillonnage.

Tableau 25 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
CHEVRES							
12-Richmond	9,46 b	1,43 b	1,95 a	9,71 a	8,95 a	1,96 a	1,09 a
15-Kingsbury	10,66 a	3,58 a	1,17 b	7,06 b	5,90 b	1,96 a	0,56 b
Moyenne	10,06	2,50	1,56	8,39	7,43	1,96	0,82
Ecart type	0,05	0,01	0,02	0,06	0,05	0,03	0,01
Coefficient de variation	1,53	1,45	4,72	2,04	1,85	3,98	5,54
CHEVAUX							
46-Sawyerville	5,62	0,89	1,48	4,14	2,93	0,60	0,26

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 26 Kilogrammes d'éléments fertilisants exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroits	Kilogramme d'éléments fertilisants, sur base de matière sèche, par tonne de fumier						
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Calcium Ca	Magnésium Mg	Sodium Na
CHEVRES							
12-Richmond	26,46 b	3,98 b	5,44 a	27,57 a	25,42 a	5,49 b	3,06 a
15-Kingsbury	32,02 a	10,53 a	3,58 b	21,53 b	17,92 b	5,91 a	1,72 b
Moyenne	29,24	7,26	4,51	24,55	21,67	5,70	2,39
Ecart type	0,14	0,04	0,07	0,16	0,13	0,07	0,04
Coefficient de variation	1,46	1,48	4,52	1,97	1,85	3,77	5,57
CHEVAUX							
46-Sawyerville	21,51	3,48	5,72	15,67	11,16	2,31	1,00

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 27 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de chèvres et de chevaux dans la région du bassin de la rivière St-François.

Endroit	Matière sèche	EXPRIMES SUR BASE DE MATIERE SECHE				pH
		% matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	
CHEVRES						
12-Richmond	35,33 a	80,51 b	44,52 b	19,49 a	17,31 a	8,42 a
15-Kingsbury	33,17 b	85,78 a	47,55 a	14,22 b	15,11 b	8,18 b
Moyenne	34,25	83,15	46,04	16,85	16,21	8,30
Ecart type	0,09	0,33	0,25	0,33	0,14	--
Coefficient de variation	0,79	1,21	1,61	5,95	2,62	--
CHEVAUX						
46-Sawyerville	26,28	87,50	48,61	12,50	24,94	7,91

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 28 pH et kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chèvres et de chevaux pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
CHEVRES				
Azote total	7,62 c	10,69 b	11,89 a	0,06
Azote ammoniacal	2,31 b	1,69 c	3,51 a	0,01
Phosphore	1,09 b	1,79 ab	1,80 a	0,03
Potassium	7,66 c	9,07 a	8,43 b	0,07
Magnésium	1,46 c	2,06 b	2,3 a	0,03
Calcium	6,71 c	7,37 b	8,19 a	0,06
Sodium	0,71 c	0,92 a	0,84 b	0,02
pH	8,50 a	8,07 c	8,35 b	--
CHEVAUX				
Azote total	4,11	6,71	6,05	--
Azote ammoniacal	0,69	0,21	1,76	--
Phosphore	0,95	1,32	2,16	--
Potassium	3,75	5,59	3,08	--
Magnésium	0,29	0,65	0,85	--
Calcium	2,31	3,58	2,89	--
Sodium	0,13	0,17	0,46	--
pH	--	7,56	8,26	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

Tableau 29 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de cendres, de carbone, rapport C/N et kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chèvres et de chevaux pour chacune des périodes étudiées.

Eléments fertilisants	mi-mai à mi-juin	mi-juin à mi-juillet	mi-juillet à mi-août	Ecart type
CHEVRES				
Azote total	24,00 c	31,45 b	32,28 a	0,17
Azote ammoniacal	7,21 b	5,09 c	9,47 a	0,04
Phosphore	3,45 b	5,16 a	4,92 a	0,08
Potassium	24,27 b	26,37 a	23,01 c	0,20
Magnésium	4,61 c	6,10 b	6,39 a	0,09
Calcium	21,27 b	21,34 b	22,40 a	0,16
Sodium	2,25 b	2,61 a	2,32 b	0,05
% Matière sèche	31,60 c	34,32 b	36,76 a	0,11
% Matière organique	86,46 a	81,23 b	81,70 b	0,41
% Cendres	13,54 b	18,77 a	18,25 a	0,41
% Carbone	48,03 a	45,13 b	44,96 b	0,30
Rapport C/N	20,24 a	14,44 b	13,96 b	0,17
CHEVAUX				
Azote total	15,07	22,71	24,53	--
Azote ammoniacal	2,53	0,78	7,14	--
Phosphore	3,43	4,91	8,76	--
Potassium	13,75	20,78	12,49	--
Magnésium	1,06	2,42	3,45	--
Calcium	8,47	13,31	11,72	--
Sodium	0,48	0,63	1,87	--
% Matière sèche	27,27	26,90	24,66	--
% Matière organique	88,63	86,44	87,43	--
% Cendres	11,37	13,56	12,57	--
% Carbone	49,24	48,02	48,57	--
Rapport C/N	---	---	---	--

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

1.7 Comparaison des fumiers des différentes espèces animales

Les concentrations moyennes en éléments fertilisants des fumiers de toutes les espèces animales considérées sont groupées au tableau 30. Ces valeurs sont exprimées sur base de matière fraîche. Considérant le fumier tel que nous l'épandons sur nos cultures, il ressort que le fumier de volailles arrive en tête avec des quantités d'azote, de phosphore, de potassium, de magnésium, de calcium et de sodium supérieures à toutes les autres. Il est suivi par les fumiers de chèvres et de moutons. Finalement les bovins laitiers, les bovins de boucherie, les porcs et les chevaux ont un fumier de qualité équivalente ou inférieure à celui des autres espèces.

Le tableau 31 présente les mêmes concentrations que le tableau 30, mais elles sont exprimées sur base de matière sèche. Ici, le fumier de porcs passe au premier rang suivi de loin par le fumier de volailles. Viennent ensuite les fumiers de chèvres, de moutons et de bovins laitiers qui sont équivalents puis finalement les fumiers de bovins de boucherie et de chevaux qui sont également sur un pied d'égalité.

Ainsi, sur base de matière fraîche, les teneurs en éléments fertilisants des fumiers des différentes espèces animales se classent par ordre décroissant de la façon suivante:

Volailles > chèvres ≈ moutons > bovins laitiers ≈ bovins de boucherie ≈ porcs ≈ chevaux.

et sur base de matière sèche, l'ordre décroissant des teneurs en éléments fertilisants est le suivant:

Porcs > volailles > chèvres ≈ moutons ≈ bovins laitiers > bovins de boucherie ≈ chevaux.

Le fumier le plus acide est le fumier de porcs avec un pH de 6,94 et le plus basique est le fumier de chèvres avec un pH de 8,30. Les variations de pourcentage de matière sèche (tableau 32) expliquent à peu près les variations de concentration en éléments fertilisants entre les fumiers des différentes espèces animales lorsqu'on les considère sur base de matière fraîche. En effet, le pourcentage de matière sèche s'ordonne de la façon suivante:

Volailles > chèvres ≈ moutons > chevaux > bovins laitiers ≈ bovins de boucherie > porcs.

Tableau 30 Kilogrammes d'éléments fertilisants par tonne de fumier frais de chacune des espèces étudiées.

Espèces	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium par tonne de fumier frais			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
Bovins laitiers	5,22 ± 0,19 c	1,82 ± 0,08 d	1,21 ± 0,08 cd	3,88 ± 0,13 c
Bovins de boucherie	4,58 ± 0,29 c	1,32 ± 0,12 de	0,80 ± 0,11 d	3,89 ± 0,19 c
Porcs	4,71 ± 0,46 c	2,69 ± 0,19 c	1,16 ± 0,18 cd	1,41 ± 0,30 d
Moutons	9,10 ± 0,38 b	3,62 ± 0,16 b	1,97 ± 0,15 b	9,28 ± 0,25 ab
Chèvres	10,06 ± 0,66 b	2,51 ± 0,28 c	1,56 ± 0,26 bc	8,39 ± 0,44 b
Volailles	23,53 ± 0,45 a	10,85 ± 0,19 a	8,63 ± 0,18 a	10,13 ± 0,30 a
Chevaux	5,62 ± 0,93 c	0,89 ± 0,39 e	1,48 ± 0,37 bc	4,14 ± 0,62 c
Moyenne	7,27	2,78	1,86	5,02
Coefficient de variation *	38,27	42,12	59,30	36,98

Espèces	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium par tonne de fumier frais		
	Ca	Mg	Na
Bovins laitiers	2,33 ± 0,19 de	0,68 ± 0,03 d	0,39 ± 0,04 c
Bovins de boucherie	2,00 ± 0,28 de	0,50 ± 0,05 d	0,16 ± 0,05 c
Porcs	1,26 ± 0,41 e	0,46 ± 0,07 d	0,38 ± 0,08 c
Moutons	5,44 ± 0,37 c	1,27 ± 0,06 c	1,07 ± 0,07 b
Chèvres	7,43 ± 0,65 b	1,96 ± 0,10 b	0,82 ± 0,12 b
Volailles	17,82 ± 0,44 a	3,34 ± 0,07 a	2,31 ± 0,08 a
Chevaux	2,93 ± 0,91 d	0,60 ± 0,15 d	0,26 ± 0,17 c
Moyenne	4,08	0,97	0,60
Coefficient de variation *	60,28	45,82	84,38

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05 pour un élément donné

*Les coefficients de variation sont très élevés parce qu'ils contiennent la forte variance existante entre les endroits de prélèvement des échantillons.

Tableau 31 Kilogrammes d'éléments fertilisants, exprimés sur base de matière sèche, par tonne de fumier de chacune des espèces étudiées.

Espèces	Kilogramme d'azote, de phosphore, de potassium sur base de matière sèche par tonne de fumier			
	N tot	$N\text{-}NH_4^+$	P	K
Bovins laitiers	27,57 ±0,95 cd	9,84 ±0,71 c	6,42 ±0,32 b	20,53 ±0,75 d
Bovins de boucherie	22,51 ±1,27 cd	6,41 ±1,06 cd	3,90 ±0,48 b	19,02 ±1,12 e
Porcs	106,97 ±2,05 a	74,98 ±1,64 a	22,66 ±0,71 a	40,40 ±1,73 a
Moutons	28,87 ±1,67 c	11,37 ±1,40 c	6,57 ±0,63 b	30,05 ±1,47 d
Chèvres	29,24 ±2,89 c	7,26 ±2,42 cd	4,51 ±1,09 b	25,55 ±2,55 c
Volailles	60,41 ±1,97 b	32,09 ±1,64 b	22,64 ±0,74 a	23,37 ±1,73 b
Chevaux	21,51 ±4,10 d	3,48 ±3,42 d	5,72 ±1,53 b	15,67 ±3,60 e
Moyenne	35,66	16,53	8,59	23,33

Espèces	Kilogramme de calcium, de magnésium, de sodium sur base de matière sèche par tonne de fumier		
	Ca	Mg	Na
Bovins laitiers	12,25 ±0,72 de	3,58 ±0,11 d	2,03 ±0,14 de
Bovins de boucherie	9,83 ±1,08 e	2,37 ±0,16 e	0,81 ±0,20 f
Porcs	27,28 ±1,74 b	10,40 ±0,25 a	9,95 ±0,31 a
Moutons	17,64 ±1,42 cd	4,08 ±0,21 d	3,58 ±0,27 c
Chèvres	21,67 ±2,46 c	5,70 ±0,36 c	2,39 ±0,46 d
Volailles	52,45 ±1,67 a	8,31 ±0,25 b	4,93 ±0,31 b
Chevaux	11,16 ±3,47 e	2,31 ±0,51 e	1,00 ±0,64 ef
Moyenne	17,37	4,43	3,72

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significatives au seuil P=0,05

Tableau 32 Pourcentages de matière sèche, de matière organique, de carbone, de cendres, rapport C/N et pH du fumier de chacune des espèces étudiées.

Espèces	Matière sèche	% matière organique	% Carbone	% Cendres	Rapport C/N	pH
Bovins laitiers	19,16 ± 0,46 d	87,07 ± 0,47 a	48,37 ± 0,24 a	12,94 ± 0,43 c	18,32 ± 0,28 b	7,47 ± 0,05 c
Bovins de boucherie	20,45 ± 0,68 d	87,59 ± 0,70 a	48,99 ± 0,36 a	11,81 ± 0,65 c	22,51 ± 0,42 a	7,78 ± 0,07 bc
Porcs	4,68 ± 1,05 e	80,70 ± 1,03 b	45,00 ± 0,53 b	18,97 ± 0,96 b	4,79 ± 0,64 d	6,94 ± 0,12 d
Moutons	31,91 ± 0,89 b	82,96 ± 0,88 b	46,09 ± 0,45 b	16,97 ± 0,82 b	16,38 ± 0,52 b	8,05 ± 0,09 ab
Chèvres	34,25 ± 1,55 b	83,15 ± 1,52 b	46,04 ± 0,78 b	16,85 ± 1,41 b	16,21 ± 0,90 b	8,30 ± 0,14 a
Volailles	42,99 ± 1,05 a	69,70 ± 1,07 c	38,90 ± 0,55 c	30,00 ± 0,96 a	7,35 ± 0,64 c	7,93 ± 0,10 ab
Chevaux	26,28 ± 2,19 c	87,50 ± 2,15 a	48,61 ± 1,11 a	12,50 ± 2,00 c	23,94 ± 1,28 a	7,91 ± 0,25 ab
Moyenne	22,45	84,51	47,02	15,35	16,87	7,65
Coefficient de variation	29,24	7,63	7,06	39,04	22,76	7,91

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P=0,05

1.8 Relation entre le pourcentage de matière sèche du fumier et sa teneur en éléments majeurs

La relation linéaire entre les teneurs en éléments fertilisants et le pourcentage de matière sèche a été évaluée pour toutes les espèces animales étudiées et les valeurs de coefficients de corrélation des droites obtenues sont présentées au tableau 33. Le fumier de porcs présente les valeurs de "r" les plus élevées pour l'azote total et l'azote ammoniacal, le fumier de chevaux pour le phosphore et le magnésium et le fumier de volailles pour le potassium. Les figures 8 à 13 nous font visualiser les droites relatives au fumier de porcs ainsi que les équations qui les décrivent. On remarque que les corrélations entre le pourcentage de matière sèche et l'azote ammoniacal, le phosphore, le magnésium sont très étroites ($r \geq 0,87$). Dans le cas de l'azote total et du potassium, les coefficients de corrélation sont respectivement 0,7 et 0,48.

Il est donc possible d'obtenir les teneurs approximatives des fumiers en éléments fertilisants à partir de leur pourcentage de matière sèche. Toutefois, il s'agit d'une évaluation grossière qui ne peut être utilisée pour fins de recherches.

1.9 Teneur de fumier en éléments mineurs (Cu, Mn, Zn, Fe, Mo et B)

Les tableaux 34 à 39 présentent les teneurs en éléments mineurs (oligo-éléments) sur base de matière sèche et de matière fraîche, des fumiers de différentes espèces animales.

Comme nous le prévoyiions, on observe des variations importantes d'un endroit à l'autre, pour une même espèce, comme dans le cas des éléments majeurs.

Le fumier de volailles semble le plus riche en éléments mineurs alors que le fumier de bovins de boucherie s'est avéré le plus pauvre. En général, le fumier est concentré en fer et peu concentré en molybdène et en bore.

La teneur en cuivre des fumiers dépasse de beaucoup les valeurs publiées par Gaudette et Zizka (1980). Atkinson et al. (1954) ont trouvé que la valeur en cuivre des fumiers se compare à celle en molybdène, alors que nous avons observé que le cuivre dans le fumier se retrouve en quantités comparables à celles du manganèse et du zinc (tableau 39).

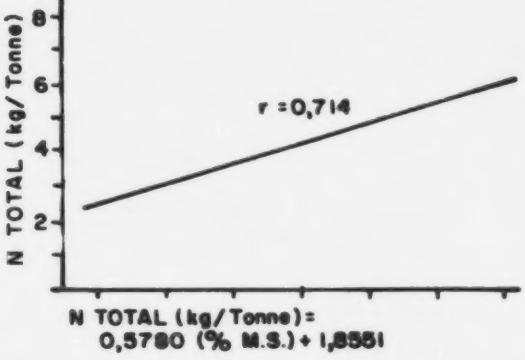
Tableau 33 Coefficients de corrélation r entre le pourcentage de matière sèche et la teneur en éléments fertilisants des fumiers de chaque espèce étudiée.

Espèces	Valeurs de r					
	Azote total N tot	Azote amm. $N\text{-}NH_4^+$	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg	Calcium Ca
Bovins laitiers	0,539 **	0,032 (N.S.)	0,172 *	0,349 **	0,251 **	0,504 **
Bovins de boucherie	0,505 **	0,317 **	0,076 (N.S.)	0,226 *	0,548 **	0,163 (N.S.)
Porcs	0,714 **	0,912 **	0,875 **	0,483 **	0,941 **	0,984 **
Volailles	0,720 **	0,130 (N.S.)	0,395 **	0,876 **	0,749 **	0,251 (N.S.)
Moutons	0,567 **	0,286 *	0,481 **	0,029 (N.S.)	0,145 (N.S.)	0,024 (N.S.)
Chèvres	0,722 **	0,278 (N.S.)	0,534 *	0,448 (N.S.)	0,641 **	0,449 (N.S.)
Chevaux	0,373 (N.S.)	0,862 **	0,939 **	0,575 (N.S.)	0,780 **	0,067 (N.S.)

N.S. = non-significatif
* = significatif à 95%
** = significatif à 99%

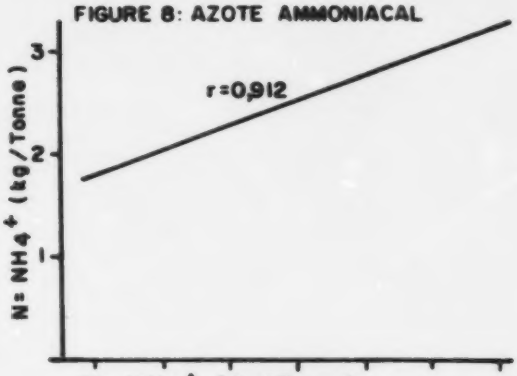
FUMIER DE PORCS
ELEMENTS FERTILISANTS vs MATIERE SECHE

FIGURE 7: AZOTE TOTAL



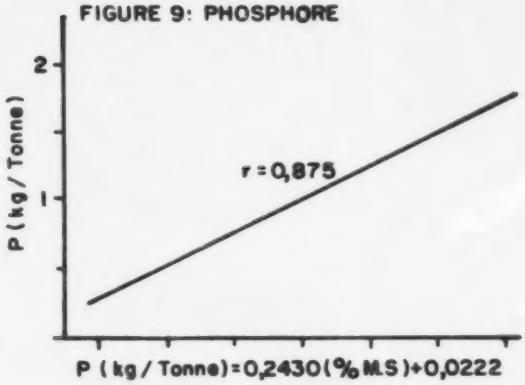
N TOTAL (kg/Tonne) =
0,5780 (% M.S.) + 1,8551

FIGURE 8: AZOTE AMMONIACAL



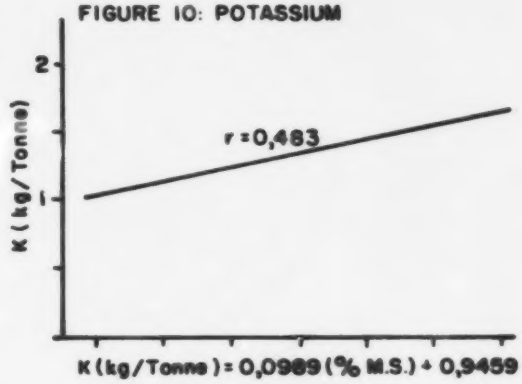
N = NH4+ (kg/Tonne) =
0,2417 (% M.S.) + 1,5622

FIGURE 9: PHOSPHORE



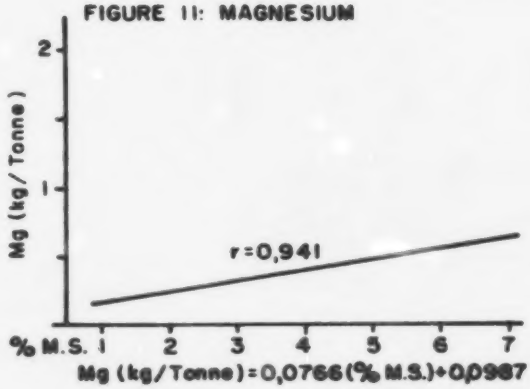
P (kg/Tonne) = 0,2430 (% M.S) + 0,0222

FIGURE 10: POTASSIUM



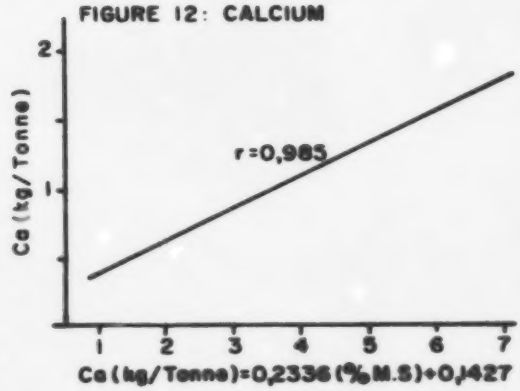
K (kg/Tonne) = 0,0989 (% M.S.) + 0,9459

FIGURE 11: MAGNESIUM



Mg (kg/Tonne) = 0,0766 (% M.S.) + 0,0987

FIGURE 12: CALCIUM



Ca (kg/Tonne) = 0,2336 (% M.S) + 0,1427

Tableau 34 Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins laitiers.

Endroits	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
Cookshire	456 a	230 b	225 d	3109 a	7,48 a	14 c
Ferme Exp.	397 a	127 c	656 a	726 c	1,87 d	8 c
Martinville	111 c	239 b	590 b	1687 b	3,52 b	32 a
Rock Forest	327 b	243 ab	403 c	1235 b	2,06 cd	24 ab
Stoke	104 c	255 a	137 e	1668 b	2,23 c	23 b
Moyenne	279	218	402	1685	3,43	20
Ecart type	17,22	4,17	8,5	123,50	0,07	2,0
C.V.	8,73	2,70	3,01	10,36	2,73	14,17

Endroits	ppm sur base de matière fraîche						
	(Cu)	(Mn)	(Zn)	(Fe)	(MO)	(B)	% M.S.
Cookshire	115 a	58 a	57 d	787 a	1,89 a	3,5 b	25,30 a
Ferme Exp.	98 b	31 d	162 a	179 d	0,46 c	2,0 c	24,64 a
Martinville	18 d	40 c	98 b	281 bc	0,59 b	5,2 a	16,65 c
Rock Forest	56 c	41 c	69 c	210 cd	0,35 d	4,2 ab	17,03 c
Stoke	20 d	49 b	26 e	321 b	0,43 c	4,4 ab	19,25 b
Moyenne	61	44	82	355	0,74	3,87	20,57
Ecart type	4,61	0,50	2,45	22,67	0,02	0,36	0,26
C.V.	10,60	1,61	4,23	9,02	3,88	13,34	1,79

Tableau 35 Teneur en éléments mineurs du fumier de bovins de boucherie.

Endroits	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
Ayer's Cliff	82 c	269 a	67 c	738 c	0,92 d	21 a
Lennoxville	137 b	88 c	98 b	619 d	2,26 a	8 b
Magog	189 a	271 a	130 a	1946 a	1,71 c	16 a
Sawyerville	66 c	126 b	23 d	1043 b	1,90 b	14 a
Moyenne	118	188	79	1086	1,70	15
Ecart type	8,26	3,97	2,57	14,79	0,04	1,64
C.V.	9,90	2,99	4,59	1,83	3,28	15,58

Endroits	ppm sur base de matière fraîche						
	(Cu)	(Mn)	(Zn)	(Fe)	(Mo)	(B)	% M.S.
Ayer's Cliff	14 c	45 b	11 c	125 c	0,16 c	3,5 a	16,93 c
Lennoxville	23 b	14 d	16 b	103 d	0,37 a	1,2 b	16,58 c
Magog	36 a	51 a	24 a	367 a	0,32 b	3,1 a	18,85 b
Sawyerville	14 c	26 c	5 d	218 b	0,40 a	3,0 a	20,91 a
Moyenne	21	34	14	203	0,31	2,73	18,32
Ecart type	1,39	0,26	0,29	3,16	0,01	0,27	0,40
C.V.	9,17	1,08	2,90	2,20	4,32	13,75	3,06

Tableau 36 Teneur en éléments mineurs du fumier de porcs.

Endroits	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
Ascot Canton 1	178 cd	269 c	531 b	1651 c	5,93 c	19 b
Ascot Canton 2	151 b	298 bc	607 b	2181 b	6,45 c	13 c
Ascot Canton 3	211 a	323 b	514 b	2040 b	7,93 c	10 cd
Ascot Canton 4	183 ab	401 a	660 b	3438 a	9,31 a	6 d
Lennoxville	111 c	212 d	1004 a	1965 bc	6,20 c	27 a
Moyenne	167	300	663	2255	7,16	15
Ecart type	8,93	10,86	51,07	99,81	0,30	2,29
C.V.	7,58	5,11	10,89	5,63	5,85	9,60

Endroits	ppm sur base de matière fraîche						
	(Cu)	(Mn)	(Zn)	(Fe)	(Mo)	(B)	% M.S.
Ascot Canton 1	5 a	8 c	15 b	47 c	0,17 d	0,54 b	2,87 bc
Ascot Canton 2	4 c	7 c	15 b	54 c	0,16 d	0,32 c	2,49 c
Ascot Canton 3	8 a	12 a	18 b	73 b	0,28 a	0,24 c	3,61 a
Ascot Canton 4	5 b	10 b	17 b	88 a	0,24 b	0,26 c	2,55 c
Lennoxville	3 c	6 d	30 a	59 c	0,19 c	0,81 a	3,00 b
Moyenne	5	9	19	64	0,21	0,43	2,90
Ecart type	0,13	0,13	1,38	3,27	0,004	0,08	0,10
C.V.	3,64	2,11	10,17	7,19	2,88	11,06	5,07

Tableau 37 Teneur en éléments mineurs du fumier de volailles.

Endroits	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
St-Germain	147 b	349 b	240 c	603 b	3,01 b	26 a
Lennoxville	1037 a	365 b	703 a	2555 a	---	14 b
Wickham	94 c	474 a	334 b	719 b	4,01 a	24 a
Moyenne	426	396	425	1292	3,51	22
Ecart type	4,24	15,39	7,63	32,93	0,14	0,96
C.V.	1,41	5,50	2,54	3,60	5,61	6,20

Endroits	ppm sur base de matière fraîche						
	(Cu)	(Mn)	(Zn)	(Fe)	(Mo)	(B)	% M.S.
St-Germain	105 b	250 b	171 b	432 b	2,15 b	19 a	71,62 a
Lennoxville	277 a	97 c	188 b	683 a	---	4 b	26,73 b
Wickham	68 c	341 a	240 a	517 b	2,89 a	18 a	72,08 a
Moyenne	150	229	200	544	2,52	13,5	56,81
Ecart type	5,62	7,39	4,38	21,24	0,05	0,47	1,25
C.V.	5,30	4,56	3,10	5,52	2,59	4,94	3,11

Tableau 38 Teneur en éléments mineurs du fumier de moutons.

Endroits	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
Kingsbury	137 c	143 d	65 d	693 bc	1,38 c	14 a
North Hatley	550 a	302 a	87 c	6505 a	7,39 a	21 a
Sawyerville	408 b	254 b	111 b	1272 b	2,08 b	16 a
Waterville	185 c	230 c	149 a	407 c	1,18 c	17 a
Moyenne	320	232	103	2219	3,01	17
Ecart type	17,58	2,03	1,73	148,50	0,16	1,80
C.V.	7,78	1,24	2,38	9,47	7,67	15,00

Endroits	ppm sur base de matière fraîche						
	(Cu)	(Mn)	(Zn)	(Fe)	(Mo)	(B)	% M.S.
Kingsbury	46 c	48 c	22 d	235 bc	0,47 c	4,8 ab	33,96 a
North Hatley	168 a	92 a	27 b	1991 a	2,56 a	6,4 a	30,59 b
Sawyerville	125 b	78 b	34 a	389 b	0,64 b	4,9 a	30,55 b
Waterville	31 c	39 d	25 c	69 c	0,20 d	2,9 b	17,00 c
Moyenne	93	64	27	671	0,89	4,74	28,02
Ecart type	4,20	0,77	0,32	60,45	0,03	0,49	0,26
C.V.	6,41	1,70	1,66	12,74	5,28	14,76	1,32

Tableau 39 Teneur en éléments mineurs des espèces animales étudiées.

Espèces	ppm sur base de matière sèche					
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)
Bovins de boucherie	118 ± 73 b	188 ± 73 c	79 ± 58 c	1086 ± 477 a	1,70 ± 0,65 b	15 ± 2,41 a
Bovins laitiers	279 ± 66 ab	218 ± 56 c	402 ± 52 b	1685 ± 426 a	3,43 ± 0,58 b	20 ± 2,15 a
Moutons	320 ± 73 ab	232 ± 73 c	103 ± 58 c	2219 ± 477 a	3,01 ± 0,65 b	17 ± 2,47 a
Porcs	167 ± 66 b	300 ± 66 b	663 ± 52 a	2255 ± 426 a	7,16 ± 0,58 a	15 ± 2,15 a
Volailles	426 ± 85 a	396 ± 104 a	425 ± 67 b	1292 ± 674 a	3,51 ± 0,91 b	22 ± 2,78
Moyenne	250	260	349	1752	3,94	18

Espèces	ppm sur base de matière fraîche						
	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Fer (Fe)	Molybdène (Mo)	Bore (B)	% M.S.
Bovins de boucherie	21 ± 18 cd	34 ± 15 bc	14 ± 10 c	203 ± 135 bc	0,31 ± 0,18 bc	2,7 ± 1 bc	18,32 ± 3,30 b
Bovins laitiers	61 ± 16 bc	44 ± 13 bc	67 ± 9 b	355 ± 121 a-c	0,74 ± 0,16 bc	3,9 ± .9 b	20,57 ± 2,95 b
Moutons	93 ± 18 b	64 ± 15 b	27 ± 10 c	671 ± 135 a	0,89 ± 0,18 b	4,7 ± 1 b	28,02 ± 3,30 b
Porcs	5 ± 16 d	9 ± 13 c	19 ± 9 c	64 ± 121 c	0,21 ± 0,16 c	0,4 ± .9 c	2,90 ± 2,95 c
Volailles	150 ± 25 a	229 ± 21 a	200 ± 11 a	544 ± 192 ab	2,53 ± 0,26 a	14 ± 1 a	56,81 ± 4,68 a
Moyenne	59	64	60	344	0,73		22,53

2. Résultats de l'enquête concernant la production, la conservation et l'utilisation des fumiers

2.1 Espèces animales

Comme il a été mentionné dans la section "matériel et méthode", les sites d'échantillonnages comportaient du fumier de différentes espèces animales. Le tableau 40 indique le nombre de producteurs visités pour chacune des espèces animales. On remarquera que les producteurs de bovins représentent 56% de l'échantillonnage. On sait que cette production est de loin la plus importante du bassin St-François.

Tableau 40 Nombre de producteurs visités par espèce animale.

Espèces animales	Nombre de producteurs	%
Bovins laitiers	23	37,10
Bovins de boucherie	12	19,35
Porcs	12	19,35
Volailles	6	9,68
Moutons	6	9,68
Chèvres	2	3,22
Chevaux	1	1,62

2.2 Alimentation des animaux

La plupart des animaux sont alimentés au foin et à la moulée (43%). Toutefois les volailles et les porcs sont nourris exclusivement à la moulée. Finalement, les autres animaux (22%) sont alimentés au foin, à la moulée et à l'ensilage.

Tableau 41 Alimentation des animaux selon les producteurs visités.

Alimentation	Nombre de producteurs	%
Moulée	17	28,33
Foin	3	5,00
Foin et moulée	26	43,33
Ensilage, foin, moulée	13	21,67
Ensilage, maïs humide, foin	1	1,67

2.3 Stabulation et litière

Chez le tiers des fermes visitées, les animaux demeurent à l'intérieur toute l'année. Ceci inclut les porcs, les volailles et deux productions de bovins laitiers. Les autres (67%) envoient les animaux en pâturage pour la période de mai à octobre.

La paille est le matériel le plus utilisé comme litière (38%). Les porcs à l'engrais ne reçoivent aucune litière alors que les truies en reçoivent au moment de la mise bas.

Tableau 42 Types de stabulation et de litière selon les producteurs visités.

	Nombre de producteurs	%
STABULATION		
Intérieur à l'année	20	33,33
Intérieur l'hiver	40	66,67
Pâturage début mai	15	37,50
Pâturage après le 20 mai	25	62,50
Hivernement avant le 15 octobre	16	40,00
Hivernement après le 15 octobre	24	60,00
LITIERE		
Aucune	9	15,00
Paille	23	38,33
Copeaux de bois	8	13,33
Vieux foin	6	10,00
Paille et vieux foin	8	13,33
Paille, son, écorce de sarrazin	1	1,67
Copeaux de bois et vieux foin	5	8,34

2.4 Modes d'entreposage et utilisation des fumiers

Tous les producteurs de porcs possèdent une fosse à purin. Pour les autres productions, les tas à l'extérieur sont encore la façon la plus courante d'entreposer les fumiers (50%). Les fosses à fumier liquide (pour bovins) constituent le mode d'entreposage le moins pratiqué.

Les périodes les plus populaires pour l'épandage sont le printemps et l'automne (39%). Toutefois, plusieurs producteurs épandent du fumier trois fois par année, soit le printemps, l'été et l'automne. Certains agriculteurs n'épandent qu'à l'automne (21%).

Le fumier est appliqué le plus souvent sur les prairies de foin (35%), suivies des pâturages (26%) et de maïs (20%). On applique du fumier sur les céréales dans 15% des cas.

Les doses d'application varient selon le type de production. Toutefois, la majorité des producteurs, soit 52%, épandent de 15 à 25 tonnes de fumier à l'hectare. Notons que 15% des producteurs ignoraient la quantité de fumier épandue sur leurs cultures. Dans le cas particulier de lisier de porcs, on observe des variations considérables d'un endroit à l'autre soit de 22,4 m^3/ha (2000 gallons/acre) à 224 m^3/ha (20 000 gal/acre) En moyenne la dose se chiffre à 139 m^3/ha (12410 gal/acre).

Tableau 43 Modes d'entreposage et utilisation des fumiers selon les producteurs visités.

	Nombre de producteurs	%
MODES D'ENTREPOSAGE		
Fosse (porcs)	12	19,36
Tas à l'extérieur	31	50,00
Plate-forme	7	11,29
Fosse (bovins)	4	6,45
A l'intérieur de l'étable	3	12,90
TEMPS D'EPANDAGE		
Automne	13	20,97
Eté	6	9,68
Printemps et automne	24	38,70
Eté et automne	2	3,23
Printemps, été, automne	16	25,81
Printemps et été	1	1,61
CULTURES RECEVANT LE FUMIER		
Foin	45	34,62
Pâturage	34	26,15
Céréales	19	14,61
Maïs	26	20,00
Fraises	3	2,31
Légumes	2	1,54
Pommes de terre	1	0,77

3. Production totale de N, P_2O_5, K_2O et charge d'azote en unités animales à l'hectare dans le bassin de la St-François

La production de fumier dans le bassin de la rivière St-François a été calculée à l'aide du Recensement agricole du Canada de 1981 et se chiffre à près de 2,3 millions de tonnes métriques. Soixante-quinze pourcent de cette quantité provient des bovins, vingt pourcent des porcs, trois pourcent des volailles, un pourcent des chevaux et moins de un pourcent des moutons et des chèvres. Si tout ce fumier était épandu uniformément sur les terres en culture, en pâturage et la jachère, on obtiendrait une dose de 14 tonnes à l'hectare, ce qui constitue une faible application (tableau 44).

La quantité produite de fumier contient plus de 25,000 tonnes d'éléments fertilisants (N, P_2O_5, K_2O). Au prix courant des engrais indiqué par l'Association des fabricants d'engrais du Québec en janvier 1983, la valeur en serait de plus de 18,000,000 dollars. La valeur fertilisante et monétaire du fumier constitue donc une ressource importante pour l'agriculture dans le bassin de la rivière St-François.

Si l'on parvenait à épandre le fumier uniformément sur les champs, on appliquerait à l'hectare: 78 kg de N, 42 kg de P_2O_5 et 49 kg de K_2O (tableau 44). Le règlement du Ministère de l'Environnement du Québec exige que l'on dispose de 0,3 hectare pour chaque unité animale (UA). Selon les résultats de nos analyses de fumier, une unité animale produirait 67,7 kg d'azote. En terme d'azote, la norme du Ministère de l'Environnement (3 UA à l'hectare) devient donc 203 kilos d'azote à l'hectare. Nous avons calculé les doses d'azote que recevraient les divers endroits du bassin de la St-François lors d'un épandage uniforme de fumier et les résultats de ces calculs ont été cartographiés à la figure 13. Presque toute la production de fumier est inférieure à 135 kilos de N ha^{-1} ou à 2 unités animales à l'hectare. On constate même que la majorité de la production en azote du fumier est plus petite qu'une unité animale à l'hectare (67,7 kg ha^{-1}). On ne retrouve que deux endroits dans le comté de Drummond où la production d'azote dépasse 3 UA ha^{-1}. Il s'agit de Wickham et de St-Nicéphore où les charges sont respectivement de 5,12 et 3,04 UA ha^{-1}. Dans le cas de Wickham, 1,93 UA ha^{-1} proviennent de l'élevage de porcs et 2,52 UA ha^{-1} de l'élevage de volailles. Dans le cas de St-Nicéphore, les volailles produisent 1,79 UA ha^{-1}. A l'exception de ces deux endroits on ne prévoit pas d'épandage de fumier à doses excessives sur presque toute la superficie du bassin de la rivière St-François.

Tableau 44 Nombre d'animaux, quantités de fumier, de N, P_2O_5 et K_2O dans le bassin de la rivière St-François.

Espèces	Nombre d'animaux	Tonnes métriques de fumier	Tonnes d'éléments fertilisants dans le fumier		
			N	P_2O_5	K_2O
Bovins	162 656	1 701 310	8 471	3 975	6 050
Porcs	211 989	455 354	2 080	1 211	746
Volailles	1 551 168	65 886	1 550	1 299	775
Moutons et chèvres	11 055	11 387	109	46	121
Chevaux	2 348	22 329	125	76	111
	1 939 216	2 256 266	12 335	6 607	7 803
#Quantités à l'hectare		14	78 kg	42 kg	49 kg
*Valeur marchande ($)		18 293 030	9 868 000	5 615 950	2 809 080

Sources: Recensement agricole du Canada, 1981; Manuel de gestions des fumiers, 1983

*En janvier 1983, N: 0,80¢/kg, P_2O_5: 0,85¢/kg et K_2O: 0,36¢/kg (Association des fabricants d'engrais du Québec, 1983).

#Superficie du bassin en culture, pâturage et jachère: 157 955 ha.

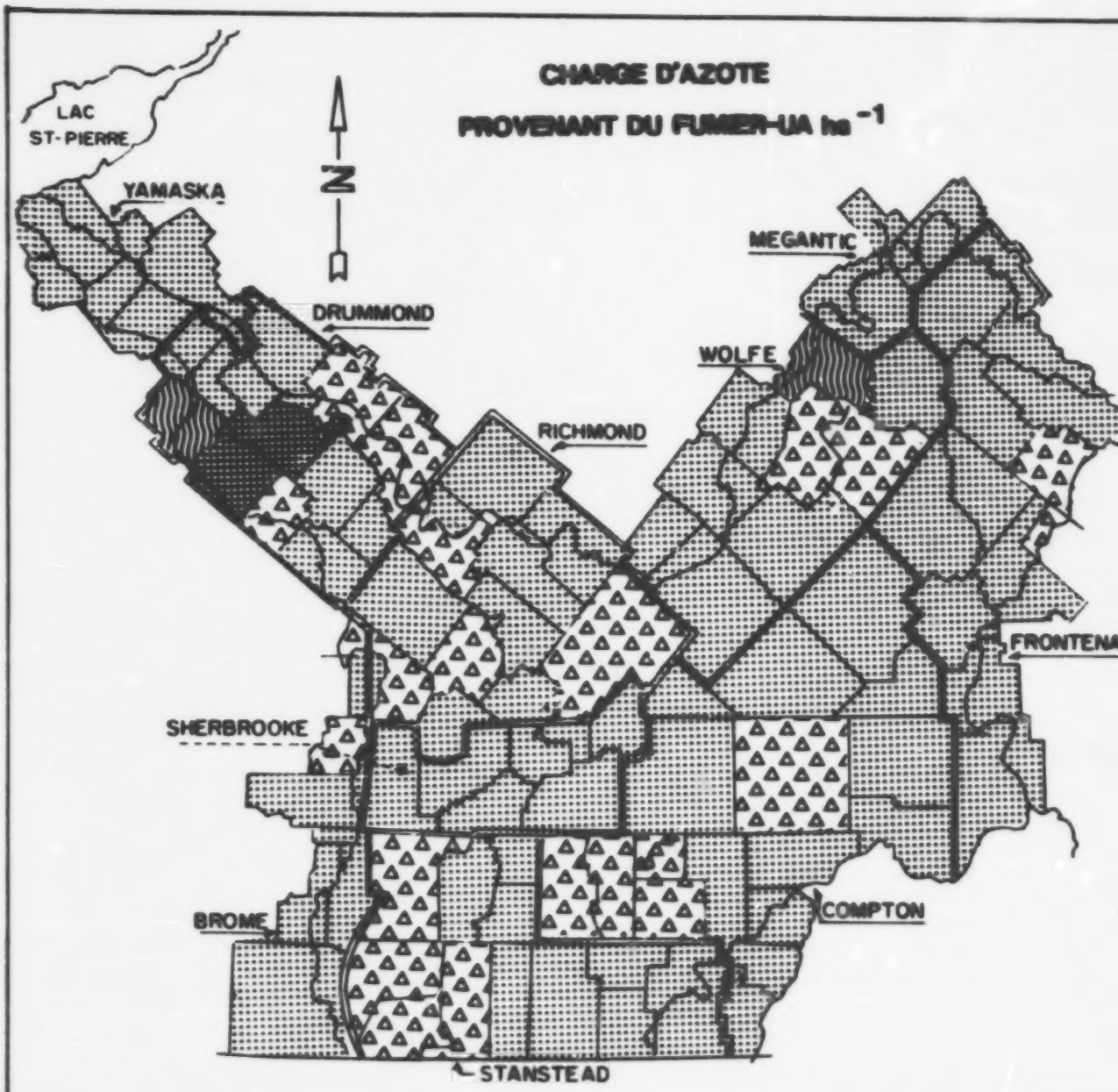


FIGURE 13

UNITES ANIMALES A L'HECTARE

LEGENDE	U A	kg N ha^{-1}
	< 1	68
	1 à 2	68 à 136
	2 à 3	136 à 204
	> 3	204

BASSIN VERSANT
DE LA
ST-FRANCOIS

0 4 8 12 milles

DISCUSSION

A la Station de Recherches de Lennoxville, nous avons décidé de mener une étude sur la production, la qualité et l'utilisation du fumier dans le bassin de la rivière St-François, au coeur duquel se situe la Station de Recherches. Une équipe d'étudiants (tes) a été chargée de mener cette étude. Ils ont consulté les rapports des statistiques agricoles du Canada et du Québec. Ils ont visité 59 producteurs agricoles localisés à la grandeur du bassin. Ils les ont questionnés au sujet du mode d'entreposage, de l'utilisation et du temps d'épandage des fumiers. De plus, ils ont prélevé des échantillons de fumier à trois reprises au cours de l'été chez les 59 producteurs. Tout cela dans un effort de donner une image réelle de ce qu'est la situation du fumier de ferme dans le bassin de la rivière St-François. Nous donnerons les principales conclusions tirées de cette étude.

Echantillonnage et méthode d'analyses chimiques

L'échantillonnage des fumiers solides en tas ou sur plates-formes ne pose aucun problème. Dans le cas du fumier semi-liquide et liquide en fosse, la prise de l'échantillon directement de l'épandeur semble être la meilleure technique pour obtenir un échantillon représentatif puisque tout le matériel a été préalablement brassé dans la fosse.

Nous avons proposé un système d'analyses chimiques des fumiers. Il est simple, facile d'application et donne de bons résultats. La méthode de mise en suspension de l'échantillon à analyser offre plusieurs avantages: 1- Elle permet l'obtention d'un mélange homogène et représentatif. 2- Elle s'applique à tous les fumiers, qu'ils soient à l'état solide ou liquide. 3- A partir d'une seule suspension homogène toutes les déterminations de cendre, de matière sèche, de matière organique, d'éléments majeurs et mineurs sont possibles. Cette méthode se prête donc particulièrement bien à des analyses routinières.

Au cours des dernières années, on a mis au point une nouvelle technique pour doser les minéraux, on l'a nommée photométrie à flamme d'émission en milieu "plasma". Cette méthode permet de doser tous les minéraux à l'exception de l'azote et cela en l'espace de quelques minutes. Tous les éléments sont déterminés simultanément. L'équipement est dispendieux. Quelques laboratoires du Québec le possède déjà. Cette méthode rend désuets certains dosages décrits ici. Par exemple le bore et le molybdène, si longs à doser par les méthodes colorimétriques, deviennent faciles à déterminer en photométrie à flamme d'émission "en plasma". Cette technique rend possible le dosage des éléments

majeurs (sauf l'azote) et mineurs des fumiers, simultanément et en quelques minutes.

Composition chimique des fumiers

Sur base de matière fraîche, c'est-à-dire tel qu'il est disponible, le fumier de volailles est le plus riche. Il est suivi du fumier de chèvres et de moutons. Finalement, les fumiers de bovins laitiers, de bovins de boucherie, de porcs et de chevaux sont à peu près équivalents. Le rapport NH_4^+/N_{tot} moyen le plus élevé est celui du fumier de porcs qui est de 0,61. Le plus faible est détenu par le fumier de cheval, soit 0,16. Le rapport NH_4^+/N_{tot} moyen du fumier de bovins laitiers se situe au centre avec une valeur de 0,35. Le fumier de porcs est donc le plus concentré en azote ammoniacal. Cet azote est susceptible de se perdre en évaporation. Le lisier de porcs laissé à la surface des champs subira donc de plus grandes pertes d'azote que le fumier de bovins laitiers.

Pour chacune des espèces étudiées la teneur en matière sèche, en azote total, en phosphore, en potassium, en calcium, en magnésium et le pourcentage de cendre ont tendance à augmenter à mesure que la saison avance, tandis que les pourcentages de carbone et de matière organique diminuent.

Les résultats obtenus montrent, de façon générale, que la variation des concentrations en éléments fertilisants des fumiers est beaucoup plus importante d'un endroit à l'autre que d'une période d'échantillonnage à l'autre. La variation, d'un endroit à l'autre, est si grande, qu'elle ne permet pas d'utiliser les valeurs moyennes consignées dans les tableaux où apparaissent les résultats d'analyses de fumier, pour évaluer avec précision la teneur en éléments fertilisants du fumier produit dans une ferme en particulier. Donc, si un producteur veut utiliser du fumier dans son programme de fertilisation des sols, il aurait avantage à le faire analyser.

Les coefficients de corrélation entre le contenu en éléments majeurs du fumier de porcs et son pourcentage en matière sèche sont très élevés. Ceci permet d'obtenir à partir du dosage de la matière sèche, une bonne approximation de la teneur en nutriments du fumier de porcs. Dubé (1983) a publié un tableau où la valeur en éléments minéraux du lisier de porcs peut être déterminée à partir de la connaissance de son contenu en matière sèche.

Teneur en éléments mineurs des fumiers

La teneur en éléments mineurs des fumiers du bassin de la rivière St-François se compare à celle rapportée par Gaudette (1980) sauf que le contenu en cuivre semble être beaucoup plus élevé. Atkinson et al. (1954) ont trouvé une teneur maximale de 40,8 ppm (base de M.S.) dans les 44 échantillons de fumier qu'ils avaient étudiés en 1954. Nous avons trouvé des valeurs au moins dix fois plus grandes. Notons qu'on utilise aujourd'hui beaucoup de cuivre dans les diètes animales. Nelson et al. (1983) ont augmenté la teneur en cuivre du lisier de porcs de 5,6 mg/kg à 56,65 mg/kg en ajoutant 250 mg/kg de cuivre dans la ration des porcs. La Commission des Communautés Européennes (1978) signale que le cuivre utilisé en abondance dans la ration des porcs finit par se retrouver dans le sol par le biais des applications de lisier et à la longue (150 ans) finira par créer des problèmes de pollution. Cependant, Nelson et al. (1983) n'ont constaté aucune accumulation de cuivre dans le maïs même si cet élément s'était accru dans le sol suite à l'application de lisier à haute teneur de cuivre. On vante souvent les mérites du fumier en tant que source d'éléments mineurs pour les cultures faites dans les sols où on l'applique. Dans le tableau 45 nous avons calculé les quantités de fumier requises pour combler les besoins en oligo-éléments de diverses cultures. Le fumier de volailles contient assez de cuivre, de zinc et de molybdène pour satisfaire aux exigences des cultures pourvu qu'on en applique de 25 à 40 tonnes à l'hectare (tableau 45). Dans une expérience de Miller et al. (1969), une application équivalente à 20 tonnes de fumier de volailles (75%) d'eau a réussi à corriger complètement une carence de zinc chez le maïs. D'après les données consignées au tableau 45, le fumier des autres espèces animales, surtout le lisier de porcs, n'est pas assez concentré pour en faire des sources valables d'éléments mineurs.

Tableau 45 Quantités de fumier, en tonnes métriques à l'hectare, requises pour fournir les éléments mineurs aux doses ordinairement recommandées.

Espèces Animales	Quantités de fumier requises: tonnes à l'hectare					
	Cuivre (Cu) 6 kg/ha^{-1}*	Manganèse (Mn) 50 kg/ha^{-1}*	Zinc (Zn) 5 kg/ha^{-1}*	Fer (Fe) 150 kg/ha^{-1}*	Bore (B) 2,0 kg/ha^{-1}*	Molybdène (Mo) 70 g/ha^{-1}*
Bovins	146	1282	123	538	3370	133
Porcs	1200	5556	263	2344	5000	333
Moutons	64	781	185	224	425	79
Volailles	40	167	25	275	143	28

*Quantité d'éléments mineurs recommandée pour diverses cultures d'après Murphy et Walsh (1972).

Entreposage et utilisation du fumier

Tous les producteurs de porcs visités possèdent une fosse à purin. Chez les éleveurs d'autres espèces, 69% laissent encore le fumier en tas à l'extérieur, ordinairement à plusieurs centaines de mètres des cours d'eau mais il y a des exceptions. Seize pourcent entreposent le fumier sur des plates-formes, 9% le conservent dans des fosses à purin et 6% le gardent à l'intérieur.

A quelle culture le fumier est-il destiné? La fréquence des réponses à cette question s'établit ainsi: 1- Foin 35%. 2- Pâturages 26%. 3- Maïs 20%. 4- Céréales 15%. 5- Autres 4%. Les prairies et les pâturages sont donc les cultures où on applique le plus fréquemment le fumier. Ces cultures sont également celles qui occupent la plus grande superficie des terres.

Les doses d'épandage de fumier solide varieraient entre 15 et 25 tonnes à l'hectare, ce qui est minime. La dose moyenne de lisier de porc appliqué au sol se chiffre à 139 mètres cubes à l'hectare (12,410 gallons à l'âcre), mais la variation est grande. On utilise des doses allant de 13 mètres cubes à l'hectare (1200 gallons à l'âcre) à 224 mètres cubes/ha (20000 gallons à l'âcre).

On applique le fumier au printemps, à l'été et à l'automne chez 26% des producteurs interrogés. Vingt et un pourcent l'appliquent à l'automne seulement tandis que 39% en épandent au printemps et à l'automne.

Conclusions

Il ressort de cette étude que plus de 2 millions de tonnes de fumier sont produites dans le bassin de la rivière St-François. Plus de 25000 tonnes d'éléments nutritifs valant près de 18 000 000.$ sont contenus dans cette masse d'engrais organique, ce qui constitue un surplus de revenus pour les cultivateurs. A la grandeur du territoire la charge d'azote provenant du fumier se chiffre à moins de 2 unités animales à l'hectare ce qui respecte la norme de 3 UA ha^{-1}.

Le fumier se révèle donc une grande richesse agricole du bassin versant de la rivière St-François. Grâce à une bonne régie de cet engrais organique, les agriculteurs peuvent obtenir de bons rendements de leurs cultures tout en maintenant leurs sols à un haut niveau de fertilité. En s'appliquant à respecter les normes du Ministère de l'Environnement concernant l'entreposage, les doses et les temps d'épanfage du fumier, ils protègeront leur milieu de la pollution ce qui ne les empêchera pas de tirer le maximum de profit du fumier, ce sous-produit de leur exploitation agricole.

Membres de l'équipe du projet

La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce à la participation de l'équipe suivante:

Josée Dupont	responsable du projet
Jean-Charles Baril	technicien de laboratoire
Lorraine Bédard	échantillonneur-recherchiste
Laure Boulet	échantillonneur-recherchiste
Gaétan Cyr	technicien de laboratoire
Pierre Demers	échantillonneur-recherchiste
Sylvie Lemay	échantillonneur-recherchiste

Remerciements

Nous tenons à remercier de tout coeur Lise Côté pour la dactylographie et le travail d'édition du texte et Jean-Paul Bourque pour les illustrations.

BIBLIOGRAPHIE

1. Atkinson, H.J., G.R. Giles et J.G. Desjardins. 1954. Trace elements content of farmyard manure. Can. J. Agr. Sci. 34: 76-80.

2. Barabé, G., L. Louchard, R. Trudel. 1976. Projet St-François. Ministère des richesses naturelles. Gouvernement du Québec 199 pp.

3. Barnett, G.M. 1975. The soil plant nutrient recycling complex and rates of animal waste application. Agriculture Canada, Ferme Expérimentale La Pocatière 126 pp.

4. Comité pour les traitements des fumiers. 1980. Guide Canadien d'utilisation des fumiers. Ministère de l'Agriculture du Canada, Ottawa 32 pp.

5. Conseil des Productions Végétales du Québec. 1980. Colloque sur les fumiers. Gouvernement du Québec. M.A.P.A.Q. 203 pp.

6. Commission of the European Communities. 1978. Information on Agriculture. The spreading of animal excrement on utilized areas of the community. Bruxelles-Luxembourg 154 pp.

7. Dible, W.T., E. Truog, K.C. Berger. 1954. Boron determination in soils and plants. Simplified curcumin procedure. Anal. Chem. 26: 418-421.

8. Dielh, R. 1959. Agriculture générale T2. Les Techniques de la production végétale, Bailleres Paris.

9. Dubé, A. 1983. La gestion rationnelle des fumiers. Agriculture, revue trimestrielle de l'OAQ 40: 44-46.

10. Dubé, A. 1983. Analyse rapide du lisier de porcs dans Manuel de gestion agricole des fumiers. p. 108-112. M.A.P.A.Q. Québec 379 pp.

11. Gaudette, A. et J. Zizka. 1980. Valeurs fertilisantes des fumiers. Dans Colloque sur les fumiers p. 5-32. C.P.V.Q., M.A.P.A.Q. Québec 203 pp.

12. Greweling, T. 1966. The chemical analysis of plant tissue. Cornell Univ. no. 6622, Ithaca, N.Y.

13. Groupe de travail sur l'utilisation agricole des fumiers. 1982. Rapport synthèse sur l'utilisation agricole des fumiers. M.A.P.A.Q., Québec 74 pp.

14. Groupe de travail sur l'utilisation agricole des fumiers. 1983. Manuel de gestion agricole des fumiers, M.A.P.A.Q., Québec 379 pp.

15. Gupta, C.V. et D.C. Mackey. 1965. Determination of Mo in plant materials using 4- methyl 1,2 dimercaptobenzene. Soil Science 99: 414-415.

16. Hensler, R.F., R.J. Olsen, O.J. Attoe. 1970. Effect of soil pH and application rate of dairy cattle manure on yield recovery of twelve plant nutrients by corn. Agron. J. 62: 828-830.

17. Hileman, L.H. 1971. Effect of rate of poultry manure application on selected soil chemical properties, In: Livestock waste management and pollution abatement. Proceeding International Symposium on livestock waste.

18. MacLean, A.J. et F.R. Hore. 1980. Fumier et compost. Agriculture Canada. Publication 868. Ottawa 19 pp.

19. Martel, Y. 1975. Les fumiers. La Terre de chez nous. 21 mars: 9-12.

20. Martel, Y., Fortier, M., Choinière, J. 1978. Fumier de ferme. Agdex 538. M.A.P.A.Q. Québec.

21. Statistique Canada. 1982. Recensement du Canada 1981. Agriculture Québec, catalogue 96-106. Ministère des Approvisionnements et Services, Ottawa, Canada.

22. Sutton, A.L., D.W. Nelson, V.B. Mayrose et D.T. Kelly. 1983. Effect of copper levels in swine manure on corn and soil. J. Environ. Qual. 12: 198-203.

23. Technicon. 1972. Simultaneous determination of total nitrogen and phosphate in water and sea water. Metodology of auto-analyser II. International Technicon Company.

24. Tecator. 1977. Tecator manuel digestion systems 2. Tecator Suède.

25. Varian Techtron. Analytical methods for flame spectroscopy.

FACTEURS DE CONVERSION

Unité métrique	Facteur approximatif de conversion	Donne
LINÉAIRE		
millimètre (mm)	× 0,04	pouce
centimètre (cm)	× 0,39	pouce
mètre (m)	× 3,28	pieds
kilomètre (km)	× 0,62	mille
SUPERFICIE		
centimètre carré (cm^2)	× 0,15	pouce carré
mètre carré (m^2)	× 1,2	verges carrées
kilomètre carré (km^2)	× 0,39	mille carré
hectare (ha)	× 2,5	acres
VOLUME		
centimètre cube (cm^3)	× 0,06	pouce cube
mètre cube (m^3)	× 35,31	pieds cubes
mètre cube (m^3)	× 1,31	verges cubes
CAPACITÉ		
litre (L)	× 0,035	pied cube
hectolitre (hL)	× 22	gallons
hectolitre (hL)	× 2,5	boisseaux
POIDS		
gramme (g)	× 0,04	once
kilogramme (kg)	× 2,2	livres
tonne (t)	× 1,1	tonnes courtes
AGRICOLE		
litres à l'hectare (L/ha)	× 0,089	gallons à l'acre
litres à l'hectare (L/ha)	× 0,357	pintes à l'acre
litres à l'hectare (L/ha)	× 0,71	chopines à l'acre
millilitres à l'hectare (mL/ha)	× 0,014	onces liquides à l'acre
tonnes à l'hectare (t/ha)	× 0,45	tonnes à l'acre
kilogrammes à l'hectare (kg/ha)	× 0,89	livres à l'acre
grammes à l'hectare (g/ha)	× 0,014	onces à l'acre
plants à l'hectare (plants/ha)	× 0,405	plants à l'acre